

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra mechanické technologie**

# **Diplomová práce**

**2010**

**Ing. Libor Malek**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra mechanické technologie**

**Návrh nové technologie výroby nábojů zápustkovým kováním**

**New Design Production Hub by Swage Hammer Forging**

Student:

Ing. Libor Malek

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Stanislav Rusz , CSc.

Ostrava 2010

## Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Libor Malek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh nové technologie výroby nábojů zápustkovým kováním**

### New Design Production Hub by Swage Hammer Forging

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávající technologie výroby nábojů brzdových kotoučů. Rešerše současného stavu kování součásti typu náboje.
2. Návrh nové technologie výroby nábojů zápustkovým kováním.
3. Sestavení modelu a provedení simulace procesu kování daného náboje s původní a nově navrženou technologií.
4. Porovnání výsledků matematické simulace původní a nové technologie.
5. Základní ekonomické vyhodnocení přínosu nové technologie.
6. Závěrečné zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. BRJUCHANOV, A. N., REBELSKIJ, A. V. *[Zápustkové kování (Konstrukce a výpočet nástrojů), díl I, Kování na bucharech]*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1955. 248 s.
2. ČADA, R. *Technologie I: část tváření a slévání (návody do cvičení)*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. 188 s., ISBN 978-80-248-0795-9.
3. HRUBÝ, J., RUSZ, S., ČADA, R. *Strojírenské tváření*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2006, 152 s., ISBN 80-248-1218-5.
4. PETRUŽELKA, J., HRUBÝ, J. *Výpočetní metody ve tváření*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000, 174 s., ISBN 80-7078-728-7.
5. HAŠEK, V. a kol. *Kování*, Praha: SNTL, 1965, 731 s.
6. SOMMER, B. *Technologie kování*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1965. 200 s.
7. STOROŽEV, M. V., POPOV, J. A. *Teória tvárnenia kovov*. Bratislava: ALFA, 1978. 488 s.

8. HRUBÝ, J., PETRUŽELKA, J. *Manuál ovládání programu QFORM*, [online]. Ostrava: VŠB-TUO, Dostupné z URL: <<http://www.345.vsb.cz/jirihruby/qform.htm>>.
9. Simufact Engineering GmbH. *Program Simufact Forming*, [online]. Dostupné z URL: <[http://www.simufact.de/en/solutions/sol\\_form.html](http://www.simufact.de/en/solutions/sol_form.html)>.

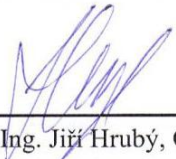
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

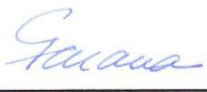
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Rusz, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. května 2010



.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. května 2010

.....  
podpis

Ing. Libor Malek  
Pustějov č.114  
742 43 PUSTĚJOV

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MALEK, L. *Návrh nové technologie výroby nábojů zápustkovým kováním: diplomová práce*. Ostrava: VŠB–Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2010, 66 s. Vedoucí práce Ruzs, S.

Tématem diplomové práce je návrh nové technologie výroby nábojů zápustkovým kováním s využitím simulace tohoto procesu. Cílem změny technologie výroby je snížení nákladů a tím také ceny těchto nábojů. V úvodu práce je proveden rozbor stávajícího způsobu výroby nábojů a návrh nové technologie zápustkovým kováním. Další část diplomové práce se již zabývá simulací kování náboje původní i nově navrženou technologií, kdy výsledek simulace potvrdil možnost bezproblémového tváření náboje i vhodnost navržených podmínek procesu. V závěru práce jsou vyčísleny dosažené úspory v nákladech na výrobu nábojů.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

MALEK, L. *New design Production Hub by Swage Hammer Forging: Master Thesis*. Ostrava: VŠB–Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering Department of Mechanical Technology, 2010, 66 p. Thesis Head: Ruzs, S.

The master thesis is concerned with die forging technology to be used in hub manufacturing process. The change of production process was aimed at reducing production cost and thus reducing the final price. The introductory part describes the current and the newly developed production process. Subsequently, a simulation was conducted in order to assess the feasibility of the process. The results of the simulation verified the possibility of trouble-free forging and applicability of the proposed process conditions. The achieved cost savings are detailed in the final chapter.

# Obsah

strana

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2 SOUČASNÝ STAV TECHNOLOGIE VÝROBY NÁBOJŮ BRZDOVÝCH KOTOUČŮ .....</b>	<b>11</b>
2.1 FUNKCE NÁBOJE .....	11
2.2 SOUČASNÁ TECHNOLOGIE VÝROBY NÁBOJE .....	12
2.3 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE .....	15
2.4 MOŽNOSTI KOVÁNÍ SOUČÁSTÍ TYPU NÁBOJE RŮZNÝMI KOVÁRNAMI .....	15
<b>3 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY NÁBOJŮ ZÁPUSTKOVÝM KOVÁNÍM .....</b>	<b>17</b>
3.1 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ .....	17
3.2 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY NÁBOJŮ .....	20
3.3 VÝKRES VÝKOVKU .....	21
3.4 STANOVENÍ VÝCHOZÍHO POLOTOVARU .....	24
3.5 VÝPOČET VELIKOSTI LISU .....	26
3.6 NÁVRH PŘEDKOVACÍCH DUTIN .....	29
<b>4 SIMULACE PROCESU KOVÁNÍ .....</b>	<b>31</b>
4.1 MODELOVÁNÍ TVÁŘECÍCH PROCESŮ A POČÍTAČOVÁ SIMULACE .....	31
4.2 OBECNÝ POPIS METODY KONEČNÝCH PRVKŮ .....	32
4.3 SIMULAČNÍ PROGRAM SIMUFACT.FORMING .....	34
4.4 SIMULACE PROCESU KOVÁNÍ NÁBOJE .....	35
4.4.1 Simulace kování při použití bucharu .....	36
4.4.2 Simulace kování při použití klikovového lisu .....	44
4.4.3 Porovnání výsledků simulace .....	57
<b>5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY NÁBOJŮ .....</b>	<b>59</b>
5.1 NÁKLADY NA VÝROBU NÁBOJŮ ZÁPUSTKOVÝM KOVÁNÍM .....	59
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>63</b>
<b>7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>64</b>
<b>8 SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>65</b>



## Seznam použitých značek a symbolů

$A_i$	[mm <sup>2</sup> ]	dílčí plocha pod křivkou napětí
$C_o$	[-]	koeficient snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teploty
$D$	[mm]	maximální průměr výkovku
$F$	[kN]	kovací síla
$F_n$	[N]	síla vznikající od normálních napětí
$F_t$	[N]	síla vznikající od tangenciálních napětí
$F_k$	[N]	výsledná kovací síla
$K_{ts}$	[-]	koeficient tvarové složitosti výkovku
$L_{pol}$	[mm]	délka polotovaru
$R$	[mm]	poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku
$R_{mT}$	[MPa]	pevnost materiálu za kovací teploty
$S'$	[mm <sup>2</sup> ]	povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky
$S_c$	[cm <sup>2</sup> ]	celková plocha průřezu výkovku a můstku do roviny kolmé ke směru rázu
$S_{pol}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha průřezu výchozího materiálu
$S_{výr}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha příčného průřezu výronkové drážky
$V_{pol}$	[mm <sup>3</sup> ]	objem výchozího materiálu
$V_v$	[mm <sup>3</sup> ]	objem výkovku
$V_{výr}$	[mm <sup>3</sup> ]	objem výronku
$b$	[mm]	šířka můstku
$h$	[mm]	výška můstku výronkové drážky
$h_n$	[mm]	výška můstku
$k_p$	[MPa]	přetvárný odpor při dané teplotě
$m_n$	[kg]	čistá hmotnost výkovku
$m_{pol}$	[kg]	hmotnost výchozího polotovaru
$m_s$	[kg]	vsázková hmotnost materiálu
$n$	[mm]	hloubka zásobníku výronkové drážky
$o$	[%]	opal
$r$	[mm]	poloměr zaoblení přechodu tvaru do dělicí roviny
$s$	[mm]	šířka můstku výronkové drážky
$s_z$	[mm]	šířka zásobníku výronkové drážky

$x_i$	[mm]	vzdálenost těžiště plochy $A_{ni}$ od osy výkovku
$\sigma_n$	[MPa]	napětí v n-tém bodě průřezu
$\eta$	[%]	stupeň využití materiálu
$\rho$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	hustota oceli
$\mu$	[-]	koeficient tření
$\psi$	[-]	vliv tření na vzrůst napětí

# 1 Úvod

Cílem této diplomové práce je návrh nové technologie výroby náboje brzdových kotoučů zápusťkovým kováním a porovnání se stávající technologií výroby prostřednictvím počítačové simulace. K simulování tvářecího procesu je využito programu Simufact.forming, který je dostupný na katedře mechanické technologie.

Simulace tvářecích procesů související se zaváděním nových technologií a výrobních postupů do praxe vede k vysokému zefektivnění výroby ve strojírenství. Jedná se především o využití metody konečných prvků, která je základem simulačních programů používaných v oblasti tváření. Promyšlené využívání počítačové simulace technologických procesů může vést ke značným finančním úsporám tím, že již před vlastním započítáním výroby bude ověřena správnost návrhu a tím se vyhneme možným budoucím problémům a dalším finančním nákladům spojených s jejich řešením. Tyto simulace je možné využít také u všech procesů objemového tváření. Například při kováni složitých zápusťkových výkovek umožňují simulace analyzovat zákonitosti kovacího procesu v průběhu kování a tak sledovat plastický tok v dutině zápusťky.

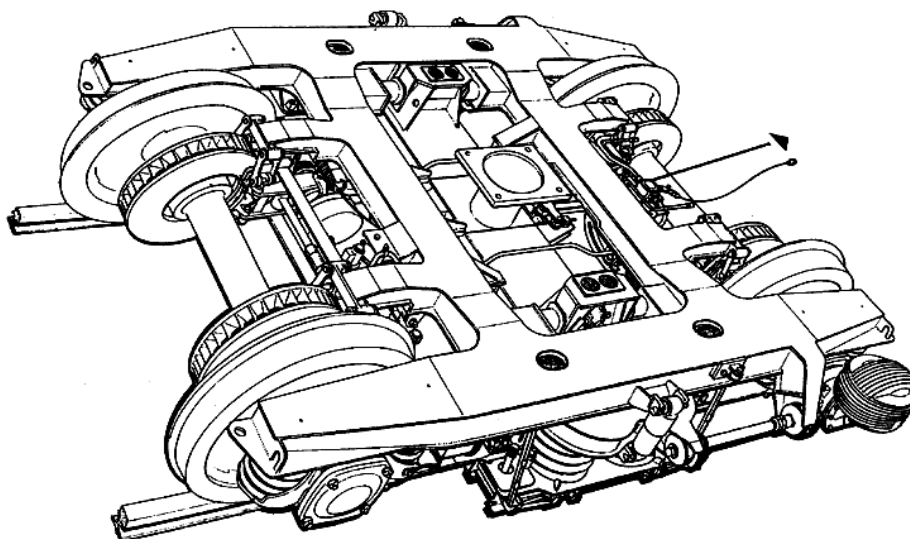
Vlastní diplomová práce je rozdělena do čtyř kapitol. V úvodní kapitole je proveden rozbor stávající technologie výroby náboje zápusťkovým kováním na šabotovém bucharu. Tato technologie výroby se stala s ohledem na tlak na snížení ceny nevyhovující. Ve druhé kapitole jsou popsány základní teoretické poznatky zápusťkového kování při využití klikových lisů, na které bude výroba převedena. Tyto teoretické poznatky jsou využity k vytvoření nového technologického postupu výroby nábojů v další části kapitoly. Třetí kapitola se zabývá základy procesu simulace metodou konečných prvků a stručnou charakteristikou užitého simulačního programu. V následující části kapitoly jsou zobrazeny a porovnány výsledky matematické simulace stávající a nové technologie. V závěrečné kapitole jsou obě varianty výroby nábojů zhodnoceny z ekonomického hlediska.

## 2 Současný stav technologie výroby nábojů brzdových kotoučů

### 2.1 Funkce náboje

Náboj brzdových kotoučů je využíván v železničních vozech určených pro nákladní i osobní přepravu. Náboj je součástí brzdového systému, kde je nalisován na hřídeli železničního dvojkolí. K náboji je dále připevněn brzdící kotouč. Třecí síly vyvolané mezi brzdovou destičkou a brzdovým kotoučem jsou pomocí náboje brzdového kotouče přenášeny na železniční dvojkolí. Jedná se tedy o díl vysoce namáhaný měrnými tlaky a o díl na jehož pevnostních a únavových charakteristikách závisí podstatnou měrou životnost a spolehlivost celého brzdového systému [7].

Z tohoto důvodu jsou na náboj kladeny vysoké technické požadavky, které jsou prověřovány řadami kontrol. Předpisy a normy pro výrobu nábojů brzdových kotoučů stanovují závazný postup výrobce od objednávání materiálu, jeho zkoušení a přejímání, přes výrobní operace, včetně všech mezioperačních kontrol až po konečnou kontrolu a přejímku výrobku. Každý výrobce vyrábějící tyto náboje musí splnit podmínky pro získání výrobkového certifikátu železnice, pro které jsou náboje určeny.



Obrázek 1 - Podvozek s kotoučovými brzdami

## 2.2 Současná technologie výroby náboje

V současné době jsou tyto náboje vyráběny zápustkovým kovááním s otevřenou zápustkou na šabotovém bucharu. Tento způsob výroby byl navržen počátkem roku 2007. Od té doby musel výrobce čelit značným tlakům na snížení ceny těchto nábojů, aby si tuto výrobu udržel. Svou roli zde sehrává růst cen materiálů a také posilující kurz české koruny vůči euru, což snižuje zisk výrobce, který prodává tyto náboje za eura.

Technologický postup výroby náboje zápustkovým kovááním na šabotovém bucharu zahrnuje tyto základní operace:

### Technologický postup [7]

1. řezání materiálu, blok 170 x 170 - 211 mm, 44,5 kg
2. ohřev materiálu na teplotu 1200 °C, plynová karuselová pec, doba ohřevu - 55 min
3. předkování polotovaru – přechování nařezaného materiálu na výšku 140 mm, dvoustojanový buchar - jmenovitá energie 60 kJ
4. kováání polotovaru v zápustce, buchar MPM 16 000 - jmenovitá energie 171 kJ
5. ostřížení výronku a děrování středové blány, ostříhovací lis LKO 315 - jmenovitá síla 3,15 MN
6. normalizační žihání při teplotě 850 °C, výdrž na teplotě 35 min., ochlazování na klidném vzduchu
7. tryskání ocelovou drtí
8. 10 % kontrola tvrdosti HB
9. 10 % kontrola povrchových vad na magnetofluxu

### Výchozí materiál

K výrobě nábojů se používá ocel 11 600. Jedná se o konstrukční ocel s vyšším obsahem uhlíku, která je vhodná pro výrobu strojních součástí vystavených velkým měrným tlakům, namáhaných staticky i dynamicky, na výkovky hřídelů, ozubená kola, čepy, pastorky, šneky atd. Mechanické vlastnosti a chemické složení dané oceli jsou uvedeny v následujících tabulkách 1 a 2.

**Tabulka 1 – Mechanické vlastnosti oceli 11 600 dle ČSN 41 1600 pro výkovky**

Stav	11 600.1
Mez kluzu $R_e$ [MPa] min	265
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	540-710
Tažnost $A_5$ [%] podél min	11

**Tabulka 2 – Chemické složení [hm. %] oceli 11 600 dle ČSN 41 1600**

P max	S max	N max
0,045	0,045	0,009

### **Dělení materiálu**

Dělení bloků 170 x 170 mm na špalíky délky 211 mm se provádí řezáním na kotoučové pile. Materiál je řezán za studena. Tento způsob dělení vylučuje deformaci řezaného polotovaru, což umožní bezproblémové usazení kovaného materiálu na rovná předkovací kovádla.

### **Ohřev materiálu**

Ohřevem materiálu dosáhneme snížení přetvárného odporu při vlastním kovacím procesu. Teplota ohřevu musí být pro daný materiál zvolena tak, aby nebyla ohrožena povrchová a vnitřní jakost ohřívané oceli.

Nařezané bloky jsou ohřívány v plynové karuselové peci s otočnou nístěží na teplotu 1 200 °C. Po zahřátí na potřebnou teplotu jsou zahřáté polotovary vytahovány z pece, očištěny od hrubých okují a pomocí pásového dopravníku se převezou ke kovacímu bucharu.

### **Předkování a kování polotovaru**

V první fázi kování se nařezaný polotovar ohřátý na kovací teplotu ustaví na rovná kovádla předkovacího bucharu a provede se pěchování na výšku 140 mm z původní výšky 211 mm.

Dokování se provádí na šabotovém bucharu MPM 16 000. Předkováný polotovar je přemístěn do dutiny spodní zápustky. Kovací zápustka musí být před započítím kování předehřátá na teplotu 250 °C až 300 °C. Před prvním úderem a poté i v průběhu kování je dutina zápustky postříkována syntetickým mazacím prostředkem. Aby nedošlo k zakování okují do povrchu kovaného materiálu, jsou okuje mezi všemi údery důkladně vyfukovány stlačeným vzduchem. Opakovanými údery bucharu je dán výkovku potřebný tvar odpovídající tvaru obou polovin zápustek. Takto vykováný dílec je vyjmut pomocí kleští ze zápustky a je provedena zběžná kontrola vyběhnutí materiálu do všech částí výkovku.

## **Ostřihování**

Náboj brzdového kotouče kovaný na šabotovém bucharu má výronek po svém vnějším obvodu a vnitřní blánu. Ostřížení výronku a vyděrování vnitřní blány výkovku se provádí sdruženým ostřihovacím a děrovacím nástrojem na klikovém ostřihovacím lise LKO 315 o jmenovité síle 3,15 MN.

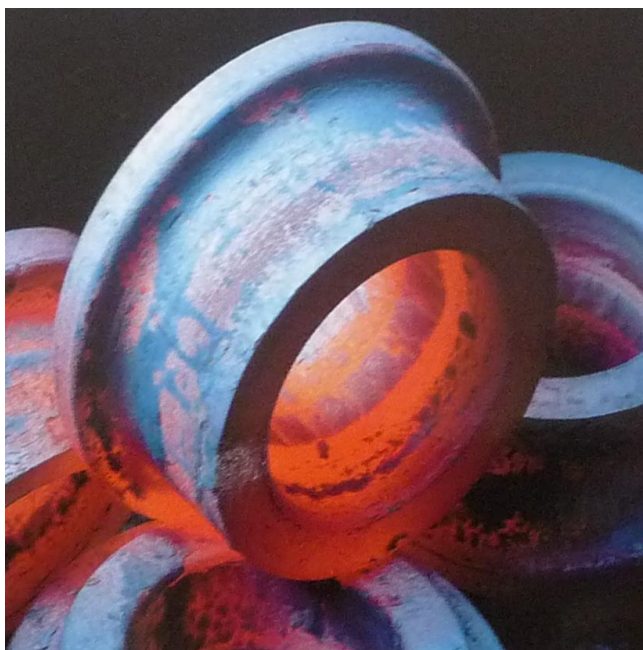
## **Závěrečné operace**

K závěrečným operacím při výrobě daného náboje patří jeho tepelné zpracování a čištění od okují. Tepelné zpracování výkovku spočívá v normalizačním žihání. Pro zvolenou ocel 11 600 se normalizační žihání provádí při teplotě 840 °C až 880 °C, výdrž na teplotě 35 minut, následuje ochlazení na vzduchu. Konečný stav materiálu je 11 600.1. Další tepelné zpracování, zušlechťování se neprovádí.

Výkovky jsou pokryty na svém povrchu vrstvou okují. Okuje jsou odstraněny otryskáváním ocelovou drtí.

## **Kontrola**

Kontrola je prováděna v celém průběhu výroby náboje. K závěrečné kontrole jakosti nábojů patří kontrola tvrdosti HB, magnetická zkouška na zjištění povrchových trhlin a rozměrová kontrola všech nábojů. Identifikované povrchové vady jsou vybroušeny a náboje opětovně překontrolovány.



**Obrázek 2 – Náboj (výkovek)**

## **2.3 Zhodnocení stávající technologie**

Stávající technologie výroby zápustkovým kováním na šabotovém bucharu umožňuje sice vyrábět jakostní a přesné polotovary blízké finálnímu tvaru nábojů. Problém však nastal s tlakem odběratelů na snížení ceny těchto nábojů a výrobce tedy musel začít hledat cesty, jak těchto úspor dosáhnout.

Nevýhodou stávající technologie oproti nově navržené je například vyšší hmotnost vsázkového materiálu, což je dáno většími technologickými přídávky materiálu. Úspory materiálu budou docíleny menšími poloměry zaoblení hran a přechodů a menšími bočními úkoly. Zmenšením těchto technologických přídávků budou také sníženy náklady na opracování konečného dílu náboje.

## **2.4 Možnosti kování součástí typu náboje různými kovárnami**

Při výběru kovárny pro výrobu součástí typu náboje je třeba posoudit především jejich výrobní možnosti - tzn. strojní zařízení dané kovárny. Tyto možnosti kovárny se udávají maximální vahou výkovků a jejich největšími rozměry, které jsou schopny vyrobit. Potřebný tvářecí stroj je tedy dán hlavně tvarem výkovku, jeho hmotností a požadovanou sériovostí výroby. V některých případech hraje roli i materiál výkovku, požadovaná přesnost kování, možnost mechanizace a automatizace.

Mezi další hlediska patří spolehlivost dodávek kovárny, získané výrobní certifikáty a samozřejmě celková kvalita vyráběných výkovků s čímž také úzce souvisí cena, za kterou jsou výkovky následně prodávány.

V současné době jsou náboje brzdových kotoučů vyráběny v MSV Metal Studénka a.s.. Tato zkušená kovárna s dlouholetou historií je schopna vyrábět zápustkové výkovky z oceli od 0,5 kg do 82 kg a do průměru 450 mm nebo do délky 900 mm. Kovárna je držitelem řady výrobních osvědčení a certifikátů ČD, ŽS Slovakia, SNCF, DB a dalších, což umožňuje bezproblémové dodávání těchto nábojů na řadu trhů. Kovárna zabezpečuje provádění zkoušek jak materiálů, tak i celých výkovků a základních metalografických zkoušek souvisejících s tepelným zpracováním výrobků. Se změnou technologie výroby, tedy převedením výroby z bucharu na lis, již nebude kovárna schopna tento náboj dále kovat, protože nedisponuje dostatečně velkým lisem.

V České a Slovenské republice existuje řada kováren, které mohou kovat náboj této velikosti. Ne všechny jsou však schopny zhotovit tento náboj jak kování na



bucharech, tak kovacích lisech. Většina posuzovaných kováren nabízí sortiment rotačních výkovků v rozmezí od 1 kg do 25 kg při použití kovacích lisů a do cca. 80 kg při využití bucharů. U rotačních výkovků nad 25 kg kovaných na kovacích lisech se již možnosti výběru vhodné kovárny značně zužují. Z prověřených 15 českých a slovenských kováren jsou pouze 2 kovárny schopny kovat náboj dané velikosti oběma technologiemi a to Taforge a.s. a Zetor Kovárna s.r.o..

Obdobná situace panuje také mezi kovárnami západní Evropy, kdy z prověřovaných 40 kováren Německa, Rakouska, Itálie a Francie má pouze malá část výrobní zařízení pro výrobu velkých nábojů oběma technologiemi. U těchto kováren je ovšem také nutno zohlednit poněkud vyšší ceny výkovků, což je dáno především vyššími mzdovými náklady.

Jako zajímavá se jeví možnost výroby nábojů ve východní Evropě, případně v asijských zemích. Čínské a indické kovárny oplývající značnými výrobními kapacitami a nízkými výrobními náklady nás nutí tyto kovárny zahrnout do zvažovaných alternativ výběru i přes hrozící rizika nižší kvality výkovků a vysokých logistických nákladů. Dalším problémem u těchto kováren může být dosažení požadovaných výrobních certifikátů.

Na základě provedeného výzkumu, zvážení výše výrobních nákladů a případných rizik plynoucích ze zadání výroby nábojů v cizích zemích bych zvolil českou kovárnu Taforge a. s..

### **3 Návrh nové technologie výroby nábojů zápustkovým kováním**

#### **3.1 Zápustkové kováání**

Zápustkové kováání patří mezi objemové tváření kovu za tepla. Tváření kovů za tepla probíhá při teplotách vyšších než je horní hranice pásma rekrytalizačních teplot [10]. Podstatou tváření je změna tvaru výchozího polotovaru působením vnějšího zatížení (napětovo-deformační stav), což je podmíněno schopností kovu deformovat se za určitých podmínek bez porušení. Při zápustkovém kováání je tok kovu omezen tvarem dutiny zápustky.

#### **Kováání na kovacích lisech**

Volba typu tvářecího stroje ovlivňuje celý technologický postup výroby výkovku. Zásadním způsobem ovlivňuje tvar výkovku a tím i tvar dutiny zápustky tj. velikost úkosů, poloměry zaoblení, polohu dělicí roviny, technologické přídávky atd.

K výrobě zápustkových výkovků se používají tvářecí stroje rázové a nerázové povahy. Mezi tvářecí stroje rázové povahy patří zejména šabotové a protiběžné buchary. Mezi tvářecí stroje nerázové povahy patří především různé druhy lisů, například klikové kovací lisy, vřetenové lisy a hydraulické lisy [5]. V dalším textu se již budu zabývat hlavně charakteristikami kováání na kovacích lisech.

Kováání na klikových kovacích lisech je vhodný způsob velkosériové a hromadné výroby výkovků za tepla. Na kovacím klikovém lisu lze kovat výkovky s výronkem i bez výronku. Kovací lisy pracující s konstantní (hydraulické lisy) nebo proměnnou rychlostí beranu (klikové, výstředníkové lisy). Ve srovnání s buchary dosahují rovnoměrnějšího přetvoření materiálu. Oproti bucharům mají kovací lisy řadu výhod. Zápustkové buchary pracující rázem vyvolávají otřesy součástí bucharu, tyto otřesy potom způsobují problémy se seřazením vodítek a uvolňují upevnění zápustek, což vede k méně přesné výrobě výkovků. Také dochází k dynamickému namáhání zápustek, které musí být proto vyráběny z velmi kvalitních materiálů a precizně zpracovány, což sebou nese vyšší náklady na výrobu těchto zápustek. Otřesy bucharů mají nepříznivý vliv na zařízení a celou budovu kovárny, nemluvě o pracovnících kovárny, kteří jsou těmto otřesům a hluku také vystaveni. Klikové lisy ty nedostatky nemají [1],[2].

K charakteristickým znakům lisů, kterými se výrazně odlišují od bucharů, patří vázaný pohyb smýkadla, stálá velikost zdvihu, přesně vymezená dolní poloha smýkadla a vyrážače, jimž se samočinně uvolňují vykované výkovky ze zápustkových dutin při značně menších bočních úkosech. Vyznačují se tím, že každá operace je vykonána jedním zdvihem s nízkou pracovní rychlostí, což má za následek rovnoměrnější chladnutí polotovaru a tím rovnoměrné zaplňování obou dílů zápustek. Vysoká tuhost kovacího ustrojí je zabezpečena změnou výšky kovacího prostoru pro zápustky. Toto je realizováno zvedáním či spouštěním desky, na niž se zápustky ustavují, nebo také změnou délky ojnice. Mezi nevýhody kování na lise patří to, že okuje, které vzniknou ohřevem na kovací teplotu, se zakovají do výrobku. Proto je nutno zajistit průběžné čištění okují v průběhu kování dílce nebo volit ohřev s minimální tvorbou okují.

Nerázový charakter kování umožňuje odlišnou konstrukci zápustek než je tomu u bucharu. Náklady na zápustky pro lis jsou menší než pro buchary a dochází také k menšímu namáhání zápustek, což zvyšuje jejich trvanlivost. Kove se v několika dutinové zápustce, která je vedena pomocí vodících sloupků. Zápustka je složena ze snadno vyměnitelných vložek upnutých v držáku pouzdra. Použití skládaných zápustek umožňuje, aby každá dutina pracovala až do svého úplného opotřebení. Výkovky, je-li to zapotřebí, mohou být vyjímaný ze zápustky samočinně působícím vyrážačem.

### **Výhody kování na kovacích lisech**

Technologie zápustkového kování na lisech je dána konstrukčními vlastnostmi lisu. Největší význam tedy mají klidný chod, tuhost stojanu, spolehlivost vedení, rychloběžnost lisu a možnost využití samočinných vyrážačů. Tyto charakteristiky lisu zajišťují velmi dobrou jakost výkovků, danou velkou rozměrovou přesností, malými technologickými přídávky, stejnorodým prokováním materiálu v celém průřezu a jeho stejnými mechanickými vlastnostmi. Další výhodou je hospodárná spotřeba kovu, vysoká výrobnost a malé provozní náklady.

Výškové rozměry výkovku jsou méně ovlivněny zkušeností kováře, jako je tomu u kování na bucharech, ale jsou zajištěny stálou velikostí zdvihu smýkadla a tuhosti konstrukce lisu. Nepřesnost svislých rozměrů je dána především pružnými deformacemi stojanu, klikového ustrojí a zápustek.

Také přesnost vodorovných rozměrů výkovků kovaných na lisech je velmi vysoká. Je to dáno přesným vedením smýkadla v tuhém stojanu lisu při jeho relativně klidné práci. Využití vodících sloupků zajišťuje výrobu výkovků jen s nepatrným přesazením.

Poněvadž lis pracuje klidným tlakem, lze u něho použít mechanických vyražeců výkovků z dutiny zápustky. To nám dovoluje navrhovat u výkovku mnohem menší zápustkové úkosy než je zapotřebí u výkovku kovaných na bucharech. Zmenšení úkosů a zvýšení přesnosti umožňuje výrazně zmenšit počet obráběných ploch a zvětšit plochy, které mohou zůstat neobrobeny. Menší nutnosti obrábění se zvyšují také mechanické vlastnosti výkovku, protože není zapotřebí odebírat tlustou vrstvu třísky a tím pádem je přeřezáváno menší množství nejkvalitnějších vláken na povrchu výkovku a tím méně se obnažuje jeho méně jakostní jádro. Při převodu zápustkového kování z bucharu na lisy lze navíc zmenšením přídavek uspořit náklady na obrábění.

Při kování na lisu se celá dutina vyplní na jeden zdvih lisu oproti několika potřebným úderům k vyplnění dutiny zápustky u bucharu. Počet zdvihů lisu se přibližně shoduje s největším počtem úderů bucharu. Kování na lisu je však výkonnější. Deformace vzniká téměř okamžitě v celém průřezu přetvářeného materiálu, probíhá stejnoměrně, což se projevuje na příznivějších mechanických vlastnostech výkovků oproti kování na bucharech.

Při velkosériové a hromadné výrobě je výhodné převedení výroby výkovků z bucharu na lisy, čímž lze dosáhnout značných úspor materiálu. Kromě toho se také ušetří čas na ručních úkonech, které jsou při kování na lisu méně pracné. K velké výrobnosti zápustkového kováře na lisu dále přispívají lepší pracovní podmínky než u bucharu. Výrobnost lisů proto bývá zpravidla 2 – 3 krát větší než u bucharů.

### **Specifika tečení kovu při kování na lisech**

Významný znakem ve způsobu vyplňování kovacích dutin materiálem u lisu je, že při kování probíhá pěchování a tečení kovu v dutině zápustky více intenzivně než je tomu při procesu protlačování. U kování na bucharu je tomu opačně. Při zaplňování dutin, kde je zapotřebí značné protlačovací síly, to může vést k neúplnému vyplnění dutiny zápustky. Na lisu se tedy tato dutina vyplňuje hůře než na bucharu, což je způsobeno rozdílnou povahou deformace kovů na bucharu a lisu.

Počáteční rychlost deformace v okamžiku styku horní zápustky s polotovarem je u bucharu větší než u lisu. Po tomto dotyku nastane u bucharu velmi náhlý pokles rychlosti horní zápustky, u lisu je tento pokles plynulý. Porovnáním počáteční rychlosti a rychlosti šíření tvárné deformace do hloubky tvářeného polotovaru na bucharu, lze odvodit nestejný průběh deformace daný větší počáteční rychlostí nástroje beranu bucharu než je rychlost šíření plastické deformace. Z tohoto důvodu dochází nejdříve

k deformaci vrchních vrstev kovu polotovaru. U lisu pochod deformace probíhá stejnoměrněji, protože rychlost je v počátečním okamžiku deformace menší.

Vliv také mají setrvačné síly, jež vznikají v deformovaném kovu při velkých rychlostech [2]. V počátečním okamžiku deformace získávají vrchní vrstvy kovu stejnou rychlost jako vrchní zápustka. Vrstvy, které naráží do dutiny zápustky vyplňované protlačováním, zůstávají vlivem setrvačnosti v rychlosti přesunu pozadu za rychlosti vrchní zápustky a tím jsou donuceny dutiny zaplnit. Následně jsou tyto vrstvy strhávány vrstvami již zasaženými deformací, čímž značně klesá vliv setrvačných sil v materiálu začíná převládat přechování. Tyto jevy se u kování na bucharech opakují se všemi údery potřebnými k zaplnění dutiny. Při kování na lisech mají tyto děje menší význam, protože probíhají v každé dutině jen jedenkrát.

Proces tvorby výronku kolem kovací dutiny zápustky na lisu neprobíhá vždy stejně a nemá ani stejný úkol jako při kování na bucharu. Shodně probíhá proces tvorby jen v případě, že se dutina zaplňuje přechováním, podobně když proces přechování převažuje nad protlačováním. V těchto případech by se měly rozměry výronků a drážky shodovat s doporučenými rozměry pro kování na bucharech [11]. V případě, že se dutina zaplňuje převážně protlačováním, jsou poměry při tvorbě výronku odlišné. Kov teče do výronku na lisu mnohem intenzivněji než na bucharu. Aby došlo k řádnému zaplnění dutiny, je zapotřebí většího množství materiálu polotovaru, protože vzniká větší výronek. Přesto se může stát, že při hlubokém protlačování zůstane po jednom zdvihu dutina nevyplněna. Toto je důvod k tomu, aby se při zápustkovém kování na lisu používalo dostatečného předběžného tvarování, tak aby se změnila povaha tečení kovu v dokončovací dutině na přechování. Přebytečný objem výronku tedy závisí na konstrukci předkovacích, tvarovacích a dokončovacích dutin. Při kování na klikovém lisu může být tedy výronek menší, stejný nebo větší než při kování na bucharu.

### **3.2 Návrh technologického postupu výroby nábojů**

Zvýšený tlak odběratelů nábojů brzdových kotoučů vyžaduje změnu jejich výrobní technologie, která by umožnila snížení výrobních nákladů a tím také jejich ceny při zachování rozumného zisku. S ohledem na velikost požadované měsíční dodávky těchto nábojů, navrhuji vyrábět náboje brzdových kotoučů zápustkovým kováním na klikovém lisu.

Návrh nové technologie výroby náboje zahrnuje tyto základní operace:

1. řezání materiálu, tyč KR 160 – 239 mm, 41,7 kg
2. indukční ohřev materiálu na teplotu 1200 °C
3. kování polotovaru v postupové zápustce na 3. operace, klikový lis LZK 6 300, jmenovitá síla 63 MN
4. ostřížení výronku a děrování středové blány, ostříhovací lis LKO 315 – jmenovitá síla 3,15 MN
5. normalizační žíhání při teplotě 850 °C, výdrž na teplotě 35 min., ochlazování na klidném vzduchu
6. tryskání ocelovou drtí
7. 10 % kontrola tvrdosti HB
8. 10 % kontrola povrchových vad na magnetofluxu

### **3.3 Výkres výkovku**

[3], [4]

Tvar výkovku je navržen a výkres výkovku zhotoven na základě výkresu součásti viz. Příloha A – Náboj. Hlavním kritériem pro návrh výkovku je zvolená výrobní technologie – v tomto případě zápustkové kování na kovacím lisu.

#### **Volba dělicí roviny výkovku**

Dělicí rovinu mezi horním a spodním dílem zápustky volím viz. Příloha B – Náboj (výkovek).

#### **Zařazení výkovku podle složitosti tvaru**

Podle ČSN 42 9002 se výkovky vzhledem ke složitosti tvaru označují číselně ve tvaru XXXX-X. Výsledné zařazení výkovku podle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002 je 5460-3.

#### **Přesnost provedení výkovku**

Na základě zařazení výkovku podle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002 navrhuji provedení dle ČSN 42 9030.2 – přesné se stupněm přesnosti kolmo k rázu  $\perp$  5 a ve směru rázu  $\parallel$  6.

#### **Přídavek na obrábění**

Přídavky na obrábění ploch se volí dle ČSN 42 9030. Pro přesné provedení a dané rozměry opracovaného náboje vychází dle normy přídavky 3,2 mm.

Rozměry opracovaného náboje:

$d = 316 \text{ mm}$  největší průměr náboje

$h = 150 \text{ mm}$  výška náboje

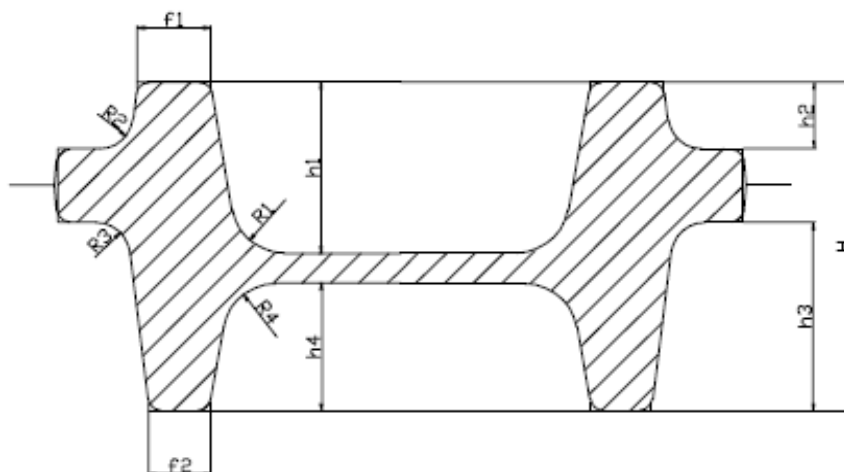
Jmenovité rozměry výkovku:

$D = 323 \text{ mm}$  největší průměr výkovku

$H = 157 \text{ mm}$  výška výkovku

### Technologické přídatky

Poloměry zaoblení přechodů  $R$  pro obráběné hrany náboje se stanoví dle ČSN 42 9030 v závislosti na poměru stran  $h/f$  viz Obrázek 3. Poloměry zaoblení hran  $r$  pro obráběné hrany se stanovují z podmínky zachování přídatku na obrábění v oblasti hrany.



$H$  – největší výška náboje ve směru rázu;  $h$  – hloubka dutiny náboje, výška výstupku nebo osazení;  $f$  – šířka příslušné části náboje u uvažovaného poloměru zaoblení šířka osazení nebo výstupku u uvažovaného poloměru zaoblení

**Obrázek 3 - Zaoblení přechodů  $R$  náboje**

$$h_1 / f_1 = 82 / 34,5 = 2,37 \quad \Rightarrow \quad R_1 = 20; r_1 = 6$$

$$h_2 / f_1 = 32 / 34,5 = 0,93 \quad \Rightarrow \quad R_2 = 8; r_2 = 3$$

$$h_3 / f_2 = 90 / 29 = 3,1 \quad \Rightarrow \quad R_3 = 20; r_3 = 6$$

$$h_4 / f_2 = 61 / 29 = 2,1 \quad \Rightarrow \quad R_4 = 12; r_4 = 4$$

Z technologických důvodů však navrhuji zaoblení hran  $r_6$  a zaoblení přechodů  $R_1, R_4 = 20$  a  $R_2, R_3 = 12$ .

## **Tloušťka blány**

Tloušťku blány jsem s ohledem na úspory materiálu zvolil 14 mm oproti normou ČSN 42 9030 doporučených 25 mm.

## **Úkosity zápustkového výkovku**

Úkosity zápustkového výkovku dle ČSN 42 9030 pro lisy s vyhazovačem stanovuji 5 ° pro vnitřní úkosity a 3 ° pro vnější úkosity.

## **Rozměrové a tvarové úchytky**

Rozměrové a tvarové úchytky stanovím dle ČSN 42 9030 pro stupeň přesnosti  $\perp 5$  a  $\parallel 6$  a dané rozměry výkovku následovně:

- pro stupeň přesnosti  $\perp 5$

mezní úchytky rozměrů:	+ 1,9 mm	tolerance:	2,9 mm
	- 1,0 mm		

- pro stupeň přesnosti  $\parallel 6$

mezní úchytky rozměrů:	+ 2,9 mm	tolerance:	4,4 mm
	- 1,5 mm		

Mezní úchytky poloměrů zaoblení přechodů R a hran r výkovku volím dle ČSN 42 9030 následovně:

- poloměr zaoblení do 10 mm

R	+ 0,50 mm	r	+ 0,25 mm
	- 0,25 mm		- 0,50 mm

- poloměr zaoblení od 10 do 32 mm

R	+ 0,40 mm	r	+ 0,20 mm
	- 0,20 mm		- 0,40 mm

Dovolené přesazení, otřep a sestřižení: 1,0 mm

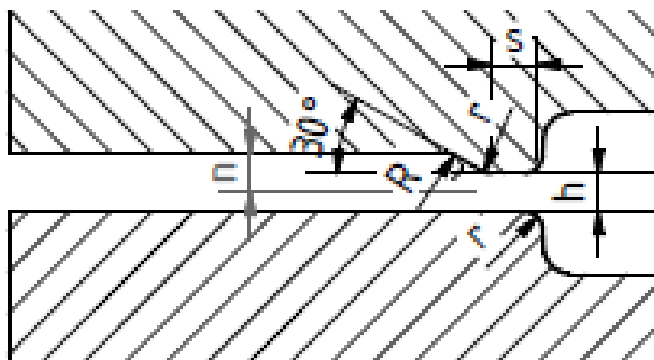
Dovolená jehla: 2,9 mm

Dovolený průhyb: 1,5 mm

## **Tvar a rozměr výronkové drážky**

Pro plánovaný kovací lis LZK 6 300 dle ČSN 22 8306 volím typ výronkové drážky – Typ I. Obvyklý viz Obrázek 4.





**Obrázek 4 - Výronková drážka - Typ I. Obvyklý**

Pro drážku Typ I. Obvyklý volím rozměry výronkové drážky následovně:

- výška můstku výronkové drážky	$h = 5 \text{ mm}$
- hloubka zásobníku výronkové drážky	$n = 7 \text{ mm}$
- šířka můstku výronkové drážky	$s = 12 \text{ mm}$
- poloměr zaoblení přechodu tvaru do dělicí roviny	$r = 4 \text{ mm}$
- poloměr zaoblení přechodů tvaru zásobníku	$R = 3 \text{ mm}$

### 3.4 Stanovení výchozího polotovaru

Jelikož se jedná o výkovek s kruhovým půdorysem použiji jako výchozí materiál kruhovou tyč s tvarem podobným tvaru výkovku v půdoryse. Jedná se tedy o materiál s osou kolmou k dělicí rovině výkovku, čímž budou dány výhodné podmínky pro radiální tečení kovu.

Objem výchozího materiálu pro výkovky s kruhovým půdorysem se vypočte podle vzorce [3]:

$$V_{pol} = (V_v + V_{výr}) \cdot \left(1 + \frac{o}{100}\right) \quad (1)$$

kde:  $V_{pol}$  = objem výchozího materiálu [ $\text{mm}^3$ ]

$V_v$  = objem výkovku [ $\text{mm}^3$ ]

$V_{výr}$  = objem výronku [ $\text{mm}^3$ ]

$o$  = opal [%]

Velikost opalu se určí v závislosti na způsobu ohřevu. Výchozí materiál bude ohříván v elektrické peci, proto volím velikost opalu 0,5 %.

Objem výronku vypočítám z tvaru a rozměrů výronkové drážky. Vyplnění výronkové drážky tvářeným materiálem u výkovků s kruhovým půdorysem se uvažuje 70 %. Objem výronku pro výkovky rotačního tvaru vypočítám ze vzorce [3]:

$$V_{výr} = 1,6 \cdot S_{výr} \cdot (D_v + 0,7 \cdot (s + s_z)) \quad (2)$$

kde:  $S_{výr}$  = plocha příčného průřezu výronkové drážky [mm<sup>2</sup>]  
 $D_v$  = maximální průměr výkovku bez výronku [mm]  
 $s$  = šířka můstku výronkové drážky [mm]  
 $s_z$  = šířka zásobníku výronkové drážky [mm]

Pro výpočet objemu výronku uvažuji šířku zásobníku  $s_z = 32$  mm a  $S_{výr} = 346,5$  mm<sup>2</sup>.

$$V_{výr} = 1,6 \cdot 346,5 \cdot (323 + 0,7(12 + 32)) = 195814,1 \text{ mm}^3$$

Objem výkovku včetně vnitřní blány je  $V_v = 4582741,9$  mm<sup>3</sup>.

$$V_{pol} = (4582741,9 + 195814,1) \cdot \left(1 + \frac{0,5}{100}\right) = 4802448,8 \text{ mm}^3$$

Hmotnost výchozího polotovaru vypočítám ze vzorce:

$$m_{pol} = V_{pol} \cdot \rho \quad (3)$$

kde:  $\rho$  = hustota oceli 11 600,  $\rho = 7850$  kg.m<sup>-3</sup>

$$m_{pol} = 4802448,8 \cdot 7,850 \cdot 10^{-6} = 41,7 \text{ kg}$$

Objem výchozího materiálu potřebného k vykování náboje brzdového kotouče včetně vnitřní blány a výronku je 4802448,8 mm<sup>3</sup> a jeho hmotnost je 41,7 kg.

Průměr kruhového polotovaru  $D_{pol}$  se vypočítá z následujícího vzorce [1], kde  $m$  je poměr výšky a průměru polotovaru. Volí se v rozsahu od 1,5 až 2,8.

$$D_{pol} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{pol}}{m}} \quad (4)$$

$$D_{pol} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{4802448,8}{1,5}} = 159,2 \text{ mm}$$

Podle normy zvolím polotovar s průměrem nejbližší k vypočtenému. Jako výchozí materiál použiji tyč KR 160 Z – ČSN 42 5510.21 – 11 600.0.

Délku polotovaru následně vypočítám ze vzorce [1]:

$$L_{pol} = \frac{V_{pol}}{S_{pol}} \quad (5)$$

kde:  $S_{pol}$  = plocha průřezu výchozího materiálu

$L_{pol}$  = délka polotovaru

$$L_{pol} = \frac{4802448,8}{20106,2} = 238,9 \text{ mm}$$

Jako výchozí polotovar bude použit KR 160 – 239 mm.

### 3.5 Výpočet velikosti lisu

Kovací lisy jsou charakterizovány maximální silou, kterou jsou schopny vyvinout při jednom zdvihu. Při volbě kovacího lisu musíme zkontrolovat, zda průběh síly potřebný k vykování výkovku nepřesáhne maximální sílu zvoleného lisu. Pro určování této síly se vzhledem k proměnlivé velikosti přetvárného odporu a rozdílných tvarů předkovek využívá teoretických výpočtů nebo empirických vztahů vyjádřených nomogramy.

Mezi základní způsob výpočtu potřebné tvářecí síly patří teoretický výpočet dle ČSN 22 8306. V poslední fázi zdvihu je dutina zápusťky zaplňována materiálem díky zvýšenému odporu proti tečení, kdy přebytečný materiál musí vytéct přes výronkovou drážku. Tento nárůst je doprovázen také růstem normálních napětí směrem ke středu výkovku, kde také dosahuje maxima. Napětí v jednotlivých bodech průřezu výkovku lze vypočítat podle následujících vztahů [13]:

$$\sigma_0 = \psi \cdot \sigma'_s = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 \quad (6)$$

$$\psi = 1 + 0,73\mu \quad (7)$$

$$\sigma'_s = R_{mT} \cdot C_0 \quad (8)$$

$$\sigma_1 = \sigma_0 + \sigma'_s \cdot \frac{b}{h} \quad (9)$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 + R_{mT} \cdot \frac{b_1}{h_1}$$

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + R_{mT} \cdot \frac{b_{n-1}}{h_{n-1}}$$

kde:  $\psi$  = vliv tření na vzrůst napětí -  $1 + 0,73\mu$  [-]

$\mu$  = koeficient tření (0,4) [-]

- $\sigma_n$  = napětí v n-tém bodu průřezu [MPa]  
 $R_{mT}$  = pevnost materiálu za kovací teploty [MPa]  
 $C_0$  = koeficient snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teploty [-]  
 $h$  = výška můstku [mm]  
 $b$  = šířka můstku [mm]

Nyní můžeme z těchto napětí vypočítat sílu vznikající od normálních napětí  $F_n$  a sílu vznikající od tangenciálního napětí  $F_t$  dle těchto vztahů:

$$F_n = 2\pi \int \sigma \cdot dS_c = 2\pi \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i \quad (10)$$

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \sum_{i=1}^m \Delta S'_i = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S' \quad (11)$$

- kde:  $F_n$  = síla vznikající od normálních napětí [N]  
 $F_t$  = síla vznikající od tangenciálních napětí [N]  
 $S_c$  = průmět plochy výkovku včetně můstku výronku do roviny kolmé ke směru rázu [cm<sup>2</sup>]  
 $S'$  = povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm<sup>2</sup>]  
 $A_i$  = dílčí plocha pod křivkou napětí [mm<sup>2</sup>]  
 $x_i$  = vzdálenost těžiště plochy  $A_{ni}$  od osy výkovku [mm]

Výslednou kovací sílu potom vypočítáme součtem těchto sil:

$$F_k = F_n + F_t \quad (12)$$

- kde:  $F_k$  = výsledná kovací síla [N]

Výpočet napětí v jednotlivých průřezích náboje  $\sigma$  dle vzorců (6) až (9). Velikost koeficientu  $C_0$  pro danou hmotnost výkovku a teplotu výronku - 3. Pevnost oceli 11 600 při kovací teplotě 1 200 °C volím  $R_{mT} = 28$  MPa a následně  $\sigma'_s = R_{mT} \cdot C_0 = 28 \cdot 3 = 84$  MPa.

**Tabulka 3 – Napětí v jednotlivých bodech průřezu náboje**

Napětí $\sigma_n$	$\sigma_0$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$
[MPa]	107,94	309,54	343,86	348,68	542,68

Výpočet dílčích kovacích sil  $P_n$ ,  $P_t$  a výsledné kovací síly  $P$  dle vzorců (10) až (12). V Tabulce 4 jsou provedeny pomocné výpočty dle části vzorce (10). Konečné výsledky ukazuje Tabulka 5.

**Tabulka 4 – Pomocné výpočty k určení síly  $F_n$** 

n	$A_i$	$x_i$	$x \cdot A_{ni}$
1.	107,94 * 12	168	217607
2.	201,60 * 6	166	200793,6
3.	309,54 * 38	143	1682040
4.	34,32 * 19	136,6	89080,83
5.	343,86 * 27	110,5	1025914
6.	4,82 * 13,5	106	6890,675
7.	348,68 * 97	48,5	1640355
8.	194,00 * 48,5	32,3	303910,7
<b>Suma</b>			<b>5166592</b>

**Tabulka 5 – Jednotlivé složky síly a výsledná kovací síla**

Síla - $F_n$	32 446 199 N
Síla - $F_t$	416 269 N
<b>Celková síla - <math>F_k</math></b>	<b>32 862 468 N</b>

K orientačnímu výpočtu maximální síly při kování na svislých kovacích lisech lze použít např. nomogram firmy Šmeral. Z tohoto nomogramu byl odvozen vztah ve tvaru [4]:

$$F = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} \quad (13)$$

kde:  $F$  = kovací síla [kN]

$S_c$  = celková plocha průřezu výkovku a můstku [ $\text{cm}^2$ ]

$k_p$  = přetvárný odpor při dané teplotě [MPa]

$K_{ts}$  = koeficient tvarové složitosti výkovku 1 až 1,42 [-]

Přetvárný odpor  $k_p$  oceli s obsahem uhlíku větším než 0,25 % je přibližně 58 MPa [1]. Koeficient  $K_{ts}$  jsem pro daný náboj stanovil - 1,17 [4], (odpovídá součásti s vysokým stupněm deformace).

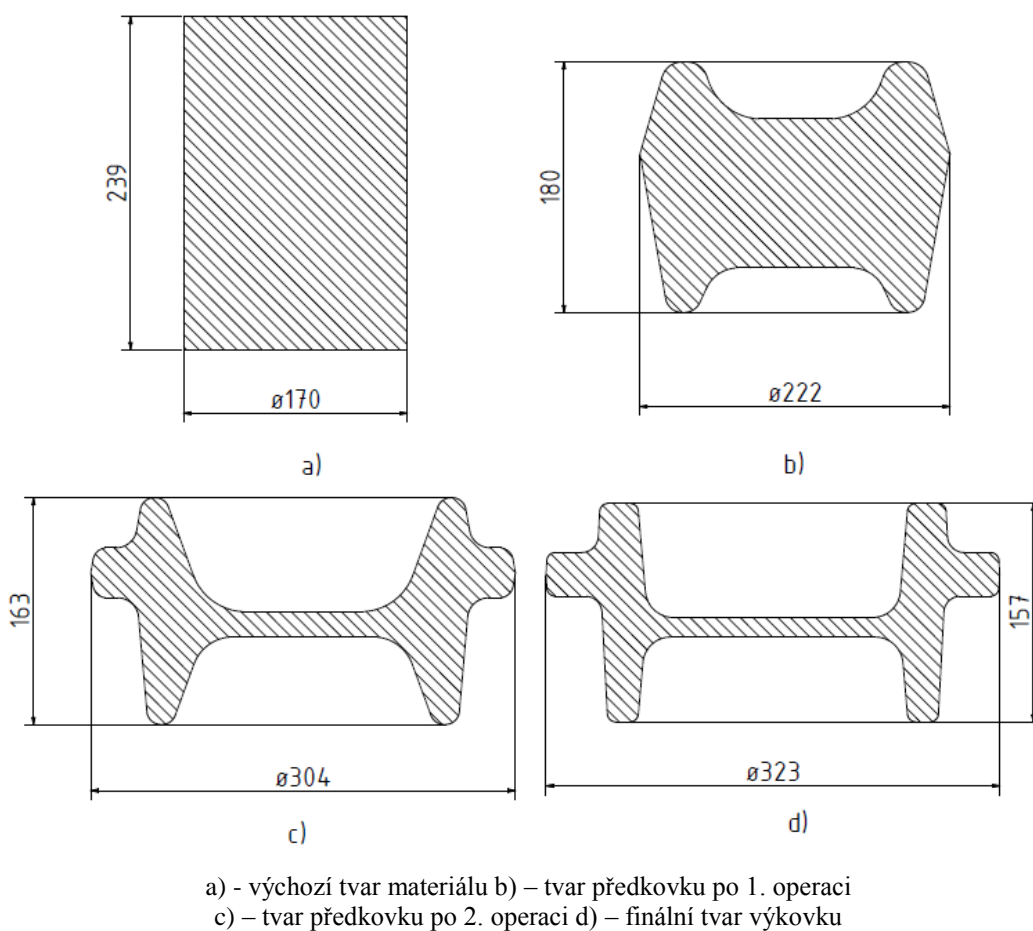
$$F = 0,6 \cdot 945,7 \cdot 58 \cdot 1,17 = 38\,505,1 \text{ kN}$$

Na základě dosažených výsledků volím klikový kovací lis LZK 6 300. Při tomto rozhodnutí jsem zvážil také velkou vsázkovou hmotnost výkovku 41,7 kg a největší rozměr výkovku v dělicí rovině 323 mm. Náboj bude potřeba kovat postupně ve třech zápustkách vedle sebe, což bude vyžadovat dostatečně velké rozměry kovacího stolu, aby zde bylo možno potřebné zápustky umístit.

### 3.6 Návrh předkovacích dutin

Kování daného náboje bude třeba provést na několik kovacích operací z důvodu značné hloubky dutiny kovaného výkovku. Pro daný výkovek náboje navrhuji přípravnou operaci pěchování výchozího materiálu a kovací operace předkování a dokončovací kování.

Pěchování je operace, při které dojde ke zvětšení příčného rozměru výkovku a současně zmenšení jeho výšky. Při pěchování výchozího materiálu bude použito tvarových kovadel. Proveďte se pěchování na potřebnou výšku v uzavřené zápustce, tedy bez výronkové drážky. Tvar dutiny zápustek pro pěchování viz. Příloha C – Pěchovací dutina.



**Obrázek 5 – Změna tvaru výchozího materiálu po jednotlivých operacích**

Předkování se používá u tvarově složitějších výkovků. Výchozí materiál se ihned po zpěchování překládá do další dutiny zápustky, kde je tvarován na přechodný tvar blízký finálnímu výkovku. Tato operace má zajistit, že dutina bude vyplněna bez vzniku kovářských vad (např. zákovků, přeložek atd.) a výronek bude co nejmenší. Vytváření takovýchto přechodných tvarů je nutné z důvodu specifického tečení kovu v dutině zápustky pod kovacím lisem, které bylo popsáno na začátku této kapitoly. Tvar

předkovací dutiny zápustek viz. Příloha D – Předkovací dutina. Předkování bude opět provedeno v uzavřené zápustce bez výronku.

Dokončovací kování se provádí v dokončovací dutině, kde polotovár dostává tvar i rozměry hotového výkovku. Současně přebytečný materiál vyběhne mezi zápustky do výronkové drážky. Tvar dokovací dutiny zápustek viz. Příloha E – Dokovací dutina.

Při kování na svislých kovacíh lisech se jednotlivé dutiny zhotovují obvykle do vložek, které jsou nalisovány do hranolovitých zápustek a ty se upínají do zápustkového držáku. Pro každou zápustkovou dutinu se použije vrchní a spodní vložky, v nichž je vytvořena vrchní a spodní část dutiny. Počet zápustek v držáku pro vykování daného náboje je 3. Dokončovací dutina bude umístěna uprostřed, mezi pěchovací a předkovací dutiny, aby bylo při dokování náboje namáhání součástí klikového ústrojí co možná nejstejnější a tím bylo dosaženo, co možná nejpresnějšího tvaru náboje.

Návrh rozměru dokončovací zápustky je popsán normou ČSN 22 8306. Rozměry zápustky jsou ovlivněny několika faktory. Patří zde zejména rozměry výkovku včetně výronku, jakost materiálu výkovku a typ navrženého kovacího lisu. Rozměry dokončovací dutiny zápustky je třeba zvětšit o uvažované smrštění výkovku, ke kterému dojde po jeho ochlazení. Pro běžné oceli uvádí norma velikost smrštění v rozmezí 1,0 až 1,3 % [13]. Smrštění u daného materiálu jsem stanovil 1,3 %.

Tvar a rozměry výronkové drážky pro dokončovací zápustky jsou popsány v předcházející kapitole – viz. kapitola 3.3. Zápustky 1. a 2. operace jsou uvažovány uzavřené – bez výronkové drážky.

Pro zajištění požadované přesnosti výkovku navrhuji použít kruhového vedení zápustek, které se používá u kruhových a čtvercových zápustek. Vnější část kruhového vedení bude zhotovena přímo na horní zápustce.

Dále je třeba na základě hloubky dutin a členitosti výkovku zvážit použití některého způsobu nuceného vyhazování výkovku. Vyhazovače je třeba použít pokud dochází k ulpívání výkovku v dutině zápustky. Podle tvaru činné části vyhazovače se rozlišují vyhazovače prstencové a kolíkové. Pro výkovek náboje navrhuji využití kolíkového vyhazovače z dutin zápustek po 2. a 3. operaci. Po 1. operaci předpokládám samovolné uvolnění předkovku z dutiny zápustky při zvednutí vrchní poloviny zápustky.

## 4 Simulace procesu kování

### 4.1 Modelování tvářecích procesů a počítačová simulace

Modelování tvářecích procesů a počítačová simulace má se zaváděním progresivních tvářecích metod do všeobecné praxe velký význam. Umožňuje nám ověřit správnost návrhu technologických parametrů i celé technické přípravy výroby ještě před začátkem vlastní výroby a tím přispívá ke zvýšení produktivity již ve fázi přípravy výroby. K tomuto modelování jsou určeny nejrůznější simulační programy, z nichž nejvíce programů používá k výpočtům metodu konečných prvků (MKP), jejíž využitím lze ve strojírenství simulovat procesy velmi širokého rozsahu.

Pomocí simulace lze řešit i velmi složité technologické operace bez přílišných zjednodušení, které by bylo nutno přijmout při řešení analytickými metodami. Simulace umožňuje studium chování tvářeného materiálu v různých časových úsecích a po provedení simulačního výpočtu lze během několika minut například odsimulovat průběh celé technologické operace. Simulace je významným pomocníkem při nalezení nejvýhodnější varianty procesu, čímž se lze vyvarovat chybným rozhodnutím a tak se vyhnout nákladným opravám tvářecích nástrojů. Simulace také podporuje tvůrčí práci návrhářů, kteří si mohou „nanečisto“ vyzkoušet různá i netradiční řešení problémů a tím získat větší přehled o samotném procesu.

Při simulaci zápusťkového kování nám simulace popisující mechaniku procesu plastické deformace umožní [6], [8]:

- Nalézt kinematické vazby tzn. předpovědět tok kovu během tvářecí operace. Tím můžeme rychle odhalit nesprávný tok materiálu a vznik přeložek, nevyplněná místa v dutině zápusťky nebo velký výronek signalizující přebytek materiálu.
- Nalézt limity tvažitelnosti nebo výrobnosti tzn. určit zda je možné provést danou tvářecí operaci při zadaných technologických parametrech bez vzniku defektů výkovku.
- Stanovit napětí, síly a energie potřebné k uskutečnění tvářecí operace. Tyto údaje využijeme při návrhu nástrojů a výběru vhodného stroje s dostačující tvářecí silou resp. energií.

Se zvyšujícími se požadavky na kvalitu výrobků a současným zkracováním doby technické přípravy má moderní výpočetní technika a kvalitní simulační software nezastupitelné místo při každém návrhu technologie výroby. V současnosti se při



simulaci objemového tváření využívají především programy DEFORM, FORFEM, QFORM 3D, FORGE3, MSC.Super.Forge, MSC.Super.Form a další, které využívají metodu konečných prvků nebo v oblasti objemového tváření nejnověji metodu konečných objemů.

## 4.2 Obecný popis metody konečných prvků

Metoda konečných prvků - MKP se začala prudce rozvíjet v 60. letech minulého století s nástupem výpočetní techniky. Název metody pochází z anglické verze The Finite Element Method a zdůrazňuje fakt, že základním stavebním kamenem metody je prvek konečných rozměrů [6]. MKP se řadí mezi numerické metody, které transformují systém parciálních nebo diferenciálních rovnic popisujících danou úlohu na algebraický systém rovnic, který se řeší na počítači. V současné době patří MKP mezi nejuniverzálnější, nejrozšířenější a nejefektivnější metody řešení inženýrských úloh.

MKP byla prvotně vyvinuta pro numerické řešení například napjatosti, deformace, teplotních polí v tělesech za podmínek elastického, tedy lineárního chování materiálu. Tato podmínka ovšem není v oblasti tváření splněna, proto musíme před započítím řešení pomocí MKP uvážit materiálový model popisující chování materiálu při daném procesu. Materiálové modely používané k analýze jsou následující [8]:

- Tuho-plastický nebo tuho-viskoplastický model – modely použitelné zejména u tváření za tepla, kdy můžeme zanedbat elastickou deformaci.
- Elasticko-plastický nebo elasticko-viskoplastický model – modely s výhodou použitelné u tváření za studena, kdy je zahrnut vliv elastické deformace.

Princip MKP spočívá v rozdělení (diskretizaci) daného tělesa na elementární části, které lze matematicky jednoduše popsat náhradními funkcemi [9]. Zásadou zde je, že pro všechny prvky dané skupiny jsou náhradní funkce stejné. Konečné prvky jsou navzájem propojeny uzlovými body. Volnými parametry jsou primárně neznámé řešení pole (posunutí, teploty, potenciály, ...) v těchto uzlových bodech. MKP transformuje výpočet primárních neznámých v teoreticky nekonečném počtu bodů oblasti na výpočet hodnoty v konečném počtu bodů – v uzlových bodech.

MKP je vzhledem k volbě náhradních funkcí metodou přibližnou a její přesnost závisí na jemnosti diskretizace řešené oblasti na konečné prvky a uzlové body. Konečné prvky mohou mít tvar čar, ploch nebo objemů konečných rozměrů. Při modelování zakřivených oblastí je možné použít také zakřivené konečné prvky.

Čím je síť konečných prvků jemnější, tím se zvyšuje i přesnost řešení. Je zde ale nutno podotknout, že i velmi hrubá síť dává velmi často uspokojivé a použitelné výsledky. Důležitým procesem během simulace je obnova zdeformované sítě konečných prvků neboli remeshing. U simulace tváření je tato fáze velice důležitá, protože vlivem velkých deformací dochází k velké deformaci sítě konečných prvků, což přináší zvýšené numerické chyby při výpočtu. Současné počítače už na úrovni obyčejných PC dokážou bez problému řešit rozsáhlé algebraické systémy rovnic velmi efektivně a rychle.

Postup řešení inženýrských úloh MKP lze popsat zevšeobecněním několika kroků [6], [8]. V prvním kroku je třeba sestavit fyzikální model úlohy a definovat podmínky jednoznačnosti řešení stanovením geometrie, materiálových vlastností, počátečních a okrajových podmínek.

V druhém kroku je analyzovaná oblast rozložena na konečné prvky. Čárové prvky se používají k řešení jednorozměrných úloh, pokud se primárně neznámá veličina mění jen v jednom směru. V mechanice se tímto prvkem modelují například prutové a nosníkové konstrukce. Plošné prvky se používají k diskretizaci oblasti s dvojrozměrnou změnou primární neznámé. K diskretizaci nejsložitějších všeobecných prostorových oblastí se používají objemové prvky. Hledaná primární neznámá se může měnit ve všech směrech.

Za třetí identifikujeme primární neznámé a zvolíme vhodné aproximační funkce pole. Výběr primárních neznámých závisí na druhu řešeného pole. V mechanice tuhých a poddajných těles to jsou většinou posunutí bodů v tělese, v teplotním poli to jsou teploty a podobně. Aproximační funkce určuje vztah mezi primárními neznámými uvnitř prvku a v jeho uzlových bodech. Výsledný funkcionál musí splňovat podmínku spojitosti na hranicích jednotlivých prvků. Mezi nejčastěji používané aproximační funkce patří lineární polynomy, Lagrangeovy polynomy atd.

Za čtvrté je nutné definovat konstitutivní vztahy mezi akcemi a reakcemi řešeného pole, které jsou určeny fyzikálními zákony. Vzájemná závislost mezi mechanickými silami a přemístěním je vyjádřena Hookovým zákonem. Přenos tepla vedením definuje Fourierův zákon atd.

V pátém kroku odvodíme závislosti mezi akcemi a reakcemi v uzlových bodech elementu tzv. prvkové rovnice. Tato závislost je definována maticí konečného prvku pole. V silovém poli je to matice tuhosti, v teplotním poli matice tepelné vodivosti, v poli proudění je to matice odporu proudění atd. Tato matice konečného prvku obsahuje geometrické charakteristiky tělesa a jeho materiálové vlastnosti. V silovém

poli je to modul pružnosti, v teplotním poli je to koeficient tepelné vodivosti atd. Prvková rovnice je zpravidla získána minimalizací funkcionálu, vyjádřeného příslušným energetickým principem daného pole, například principem minima potenciální energie.

V šestém kroku odvodíme rovnice pro celou řešenou oblast a řešíme primární neznámé. Speciální sumací prvkových rovnic získáme algebraický systém rovnic celé oblasti. Před jejich řešením je třeba ještě zohlednit příslušné okrajové podmínky.

Posledním krokem je výpočet sekundárních neznámých užitím přípustných fyzikálních vztahů z primárních neznámých. Lze vypočítat mechanické napětí, hustotu tepelných toků, proudové hustoty, tlak proudící kapaliny atd.

### **4.3 Simulační program Simufact.forming**

Při simulování tvářecího procesu výroby náboje brzdového kotouče jsem využil program Simufact.forming. Jedná se o produkt firmy Simufact, který vznikl sloučením programů MSC.Super.Forge a MSC.Super.Form – sloužících pro simulaci tvářecích procesů. Program je vhodný nejen pro optimalizaci tvářecích procesů, ale také pro složité analýzy v oblasti výzkumu a vývoje. Program přesto disponuje jednoduchým a intuitivním uživatelským rozhraním. Jedná se tedy o moderní simulační software s nenáročnou obsluhou, který nevyžaduje velké zkušenosti s MKP.

Program umožňuje 2D i 3D simulace v oblasti objemového i plošného tváření a to za tepla i za studena. Program tedy dovoluje simulaci převážně většiny procesů tváření, jedná se například o zápusťkové i volné kování, tvarování plechů, válcování, protlačování, ohýbání, ohřev a chlazení materiálu, stříhání a další [12].

Program Simufact.forming nabízí využití dvou výpočtových metod, může pracovat na bázi metody konečných prvků nebo konečných objemů. Využití metody konečných objemů umožňuje asi desetinásobné zkrácení času potřebného k výpočtům ve srovnání s metodou konečných prvků.

Simufact.forming dovoluje jednoduché a rychlé definování elementů a parametrů procesu. Patří zde parametry tření, výměny tepla, materiálové parametry, parametry přestavby sítě (remeshing) a mnoho dalších. Program umožňuje vkládání CAD geometrie nástrojů ve formátu STL.

Program nabízí sledování průběhu plastického toku materiálu v nástroji a nabízí barevné zobrazení velikosti a rychlosti přetvoření, napětíových poměrů, teplotních polí a kontaktních tlaků na ploše nástroje v průběhu zaplňování dutin. Program dále

obsahuje také funkce dovolující například automatické sledování záložek, simulace odpružení nebo analýzu nářadí.

Součástí programu je také materiálová základna Simufact.material a přehledný archivační nástroj Simufact.project. Modul Simufact.material slouží jako materiálová databáze a současně nabízí rozšířené materiálové parametry nezbytné při simulacích případů svázaných s předpovědí velikosti zrna nebo fázového rozkladu v hotovém výrobku. Modul Simufact.project slouží ke snadné organizaci a ukládání velkého množství údajů vytvořených prostřednictvím simulačního procesu.

Samotná simulace procesu tváření sestává z těchto fází:

- Přípravná fáze simulace – vytvoření geometrického modelu polotovaru a nástroje v CAD softwaru; volba druhu tvářecího procesu a metody výpočtu, velikosti elementu; zadání vstupních parametrů tvářeného materiálu, tvářecího stroje, tření, tvářecí teploty atd.
- Vlastní simulace – spuštění a průběh procesu simulace.
- Vyhodnocení dosažených výsledků simulace – zobrazení jednotlivých grafů a videa z průběhu procesu.

Program Simufact.forming přináší pro jeho uživatele řadu výhod. Jedná se především o redukci nákladů pomocí rychlejšího a efektivnějšího procesu zavedení nové technologie, o virtuální přezkoušení správného tvaru nástrojů a parametrů procesu, o zvětšení životnosti nástrojů, o lepší využití strojů nebo o rozšíření oblasti nabízených výrobků.

#### **4.4 Simulace procesu kování náboje**

Simulace kování náboje je provedena v programu Simufact.forming. Před zahájením vlastní simulace bylo zapotřebí definovat vstupní podmínky simulace a vytvořit geometrické modely nástrojů a vstupního materiálu.

Protože se jedná o simulaci procesu kování rotačního, osově symetrického výkovku, mohla být z důvodu úspory výpočetního času simulace provedena jen v jeho části. Simulaci kování jsem proto provedl v  $\frac{1}{4}$  tvářeného materiálu. Aby byly dosažené výsledky platné, jako by simulace procesu probíhala v celém objemu, byla maximální energie bucharu i jmenovitá síla kovacího lisu ve vstupních údajích simulačního programu zadána jako  $\frac{1}{4}$  skutečné hodnoty.

#### 4.4.1 Simulace kování při použití bucharu

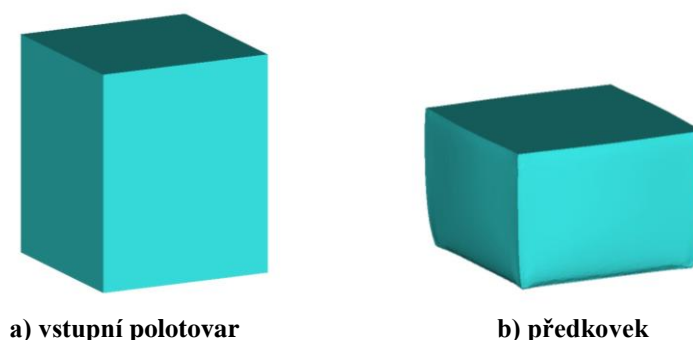
Náboj brzdových kotoučů se dle technologického postupu kove ve dvou fázích. V první fázi kování náboje se výchozí polotovar spěchuje na rovných kovádlech předkovacího bucharu na výšku 140 mm. Poté se spěchovaný materiál přemístí do dokovací dutiny bucharu MPM 16 000 a vykove se konečný tvar výkovku. Průběh kování je charakterizován následujícími výstupními údaji ze simulačního programu – rozložení intenzity napětí, intenzity deformace, intenzity rychlosti deformace, průběh materiálového toku a rozložení teplotního pole.

##### Simulace přechování výchozího materiálu

###### Vstupní údaje operace přechování:

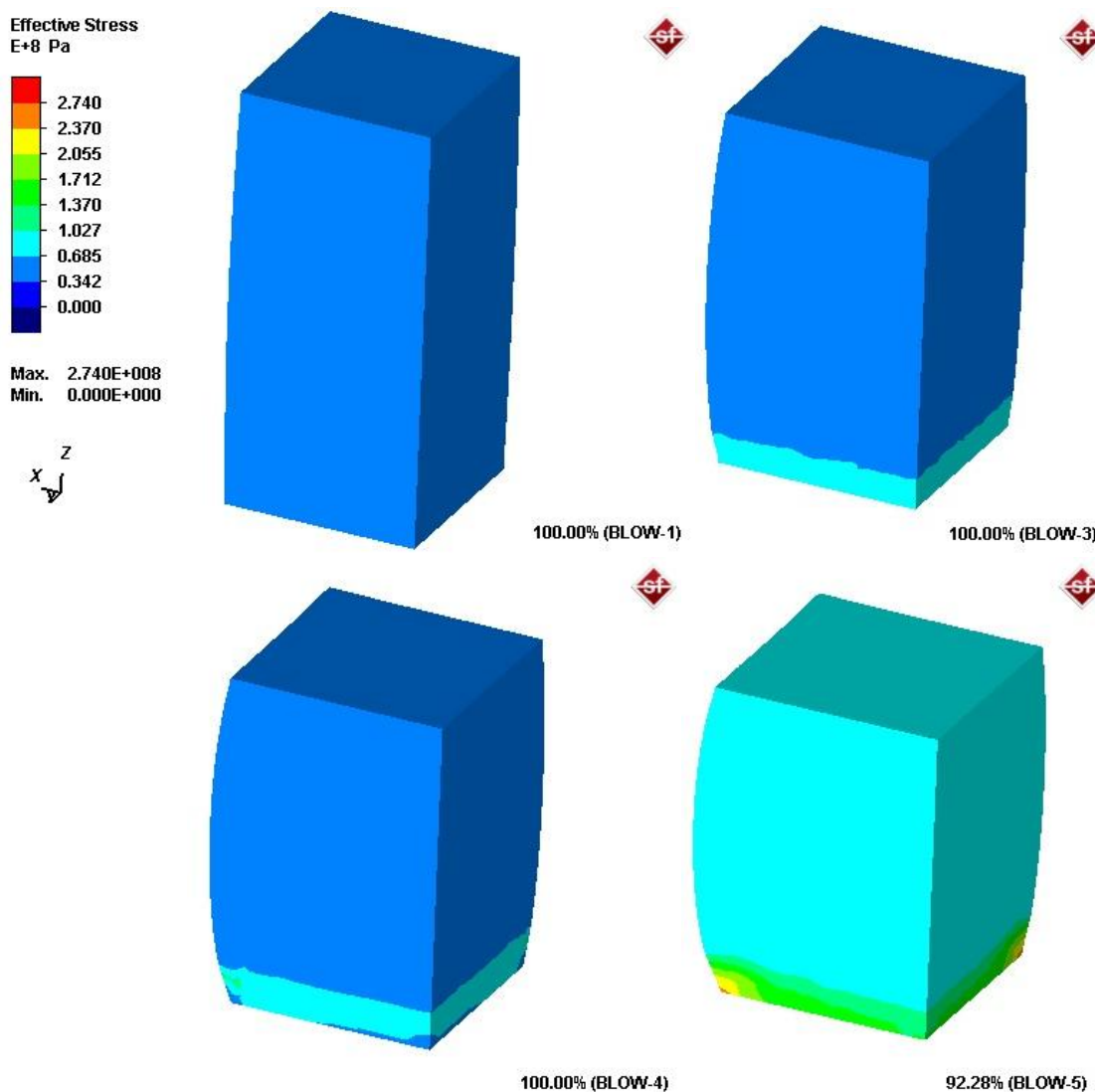
Kovací stroj:	Dvoustojanový předkovací buchar	
	• maximální energie úderu	15 kJ (resp. 60 kJ)
	• hmotnost beranu	500 kg (resp. 2 000 kg)
Jakost polotovaru:	ČSN 11 600	
Počáteční teplota kování:	1200 °C	
Teplota zápusťek:	300 °C	
Koeficient přestupu tepla do materiálu:	20000 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	
Koeficient přestupu tepla do okolí:	50 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>	
Tření:	součinitel smykového tření	0,4
	součinitel Coulombova tření	0,3

Přechování z původní výšky 196 mm na výšku 140 mm bylo ukončeno v průběhu 5. úderu. Mezi jednotlivými údery je uvažováno s ochlazováním 0,5 s po dobu zvedání beranu. Tvar vstupního polotovaru a předkovku po přechování je na Obrázku 6.



**Obrázek 6 – Tvar vstupního polotovaru a předkovku**

Rozložení intenzity napětí v průběhu pěchování je zobrazeno na Obrázku 7. Úroveň intenzity napětí je poměrně nízká, průměrně se pohybuje v rozmezí 34,2 MPa až 102,7 MPa. Ve špičce dosahuje hodnoty 274 MPa. Takto vysoké hodnoty je dosaženo pouze ke konci pěchování ve velmi malém objemu materiálu a to po okraji stykové plochy spodního kovádkla a materiálu. Jinak je rozložení napětí rovnoměrné.

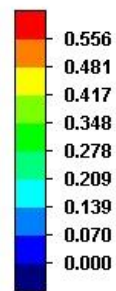


**Obrázek 7 - Rozložení intenzity napětí v průběhu pěchování**

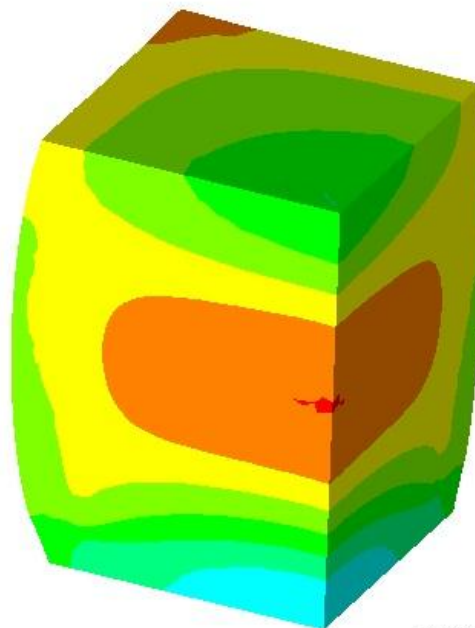
Intenzita deformace polotovaru dosahuje v průběhu pěchování dle Obrázku 8 poměrně nízkých hodnot. Nejvýraznější deformaci pozorujeme v jádru materiálu, kde na konci pěchování dosahuje maxima 0,556.

Intenzita rychlosti deformace při posledním úderu je zobrazena na Obrázku 9. Rychlost deformace je nejvyšší na začátku úderu, poté se postupně snižuje a dosahuje průměrných hodnot  $0,294 \text{ s}^{-1}$  až  $1,175 \text{ s}^{-1}$ . Průběh změny intenzity deformace je obdobný u všech úderů beranu.

Effective Plastic Strain



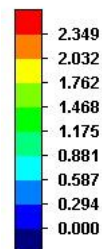
Max. 5.565E-001  
Min. 0.000E+000



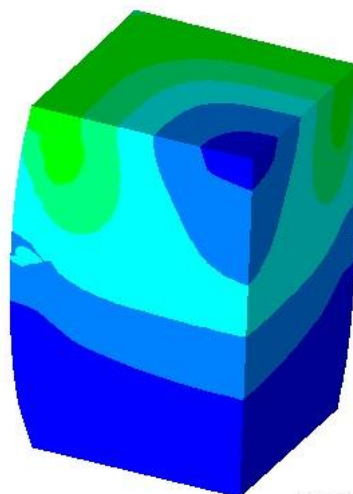
92.28% (BLOW-5)

Obrázek 8 – Rozložení intenzity deformace na konci přechování

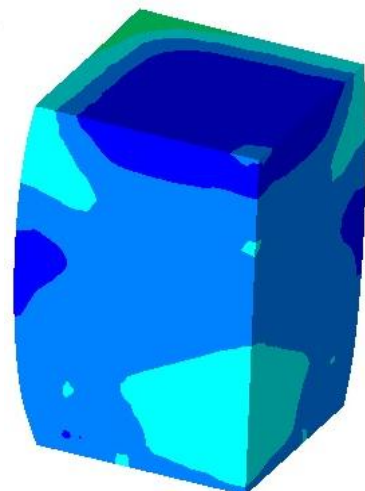
Effective Strain Rate  
E+2



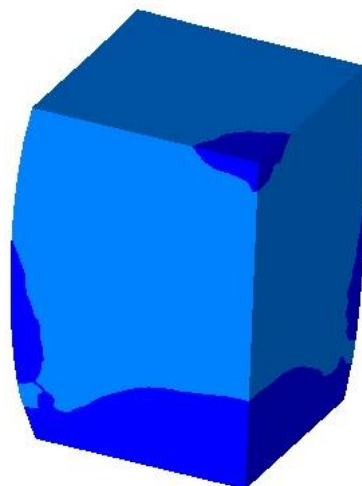
Max. 2.349E+002  
Min. 0.000E+000



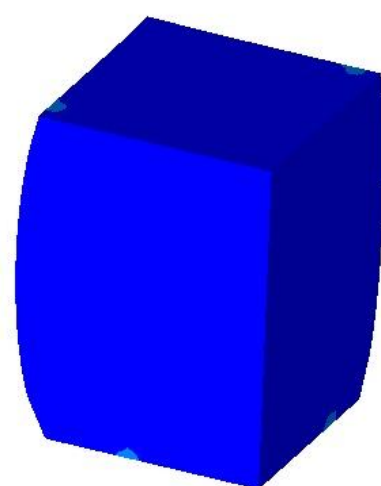
10.10% (BLOW-5)



30.02% (BLOW-5)



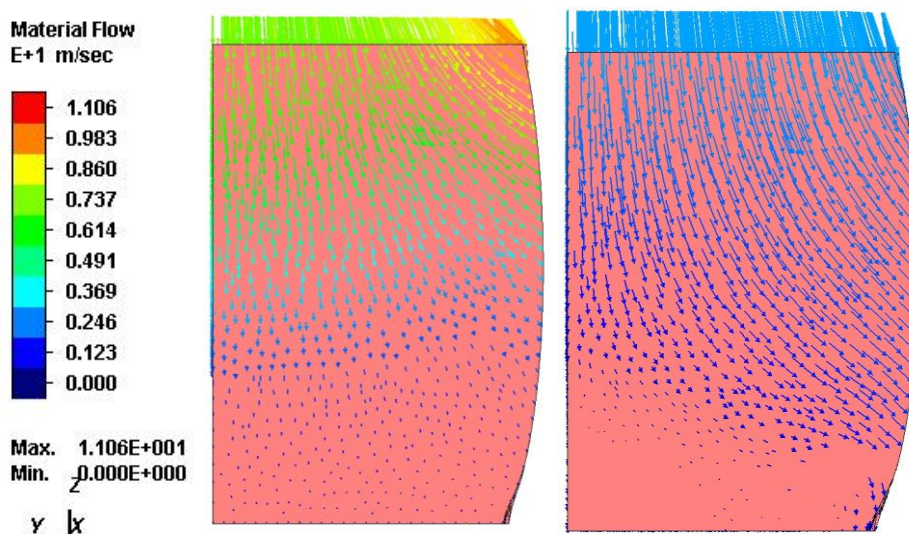
60.03% (BLOW-5)



92.28% (BLOW-5)

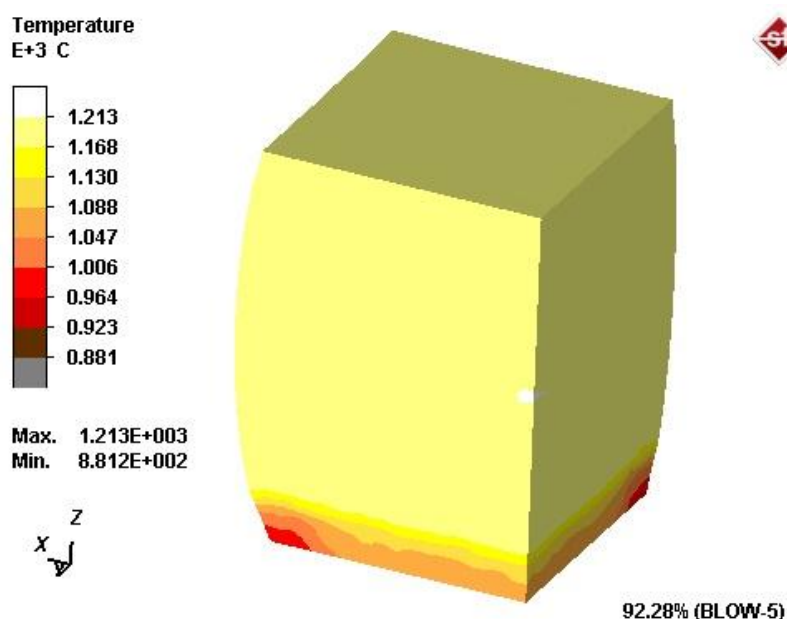
Obrázek 9 - Intenzita rychlosti deformace v průběhu posledního úderu

Při pěchování výchozího materiálu dochází k plynulému zmenšování výšky materiálu při současném zvětšování jeho šířky. Materiálový tok při posledním 5. úderu je zobrazen na Obrázku 10. Na začátku úderu je rychlost materiálového toku nejvyšší a poté klesá.



**Obrázek 10 – Průběh vektorů rychlosti toku materiálu**

V průběhu pěchování poklesla kovací teplota v převážné části objemu materiálu z 1200 °C na teplotu cca. 1170 °C, což lze vidět na Obrázku 11. K výraznějšímu ochlazení došlo v povrchových vrstvách stýkajícími se s plochou spodního nástroje a to až na hodnotu cca. 964 °C. V průběhu přemístění předkovku na dokovací buchar předpokládáme opětovné zahřátí povrchových vrstev od jádra a dojde k rekrystalizaci materiálu předkovku.



**Obrázek 11 – Teplotní pole na konci pěchování**

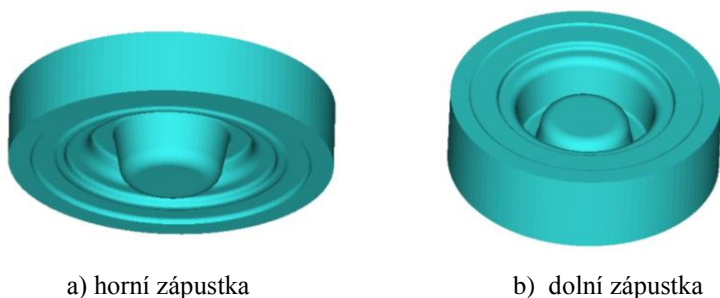


## Simulace dokování výkovku náboje

### Vstupní údaje operace dokování:

Kovací stroj:	Šabotový buchar MPM 16 000	
	• maximální energie úderu	42,75 kJ (resp. 171 kJ)
	• hmotnost beranu	1575 kg (resp. 6300 kg)
Jakost polotovaru:		ČSN 11 600
Teplota zápustek:		300 °C
Koeficient přestupu tepla do materiálu:		20000 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Koeficient přestupu tepla do okolí:		50 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Tření:	součinitel smykového tření	0,4
	součinitel Coulombova tření	0,3

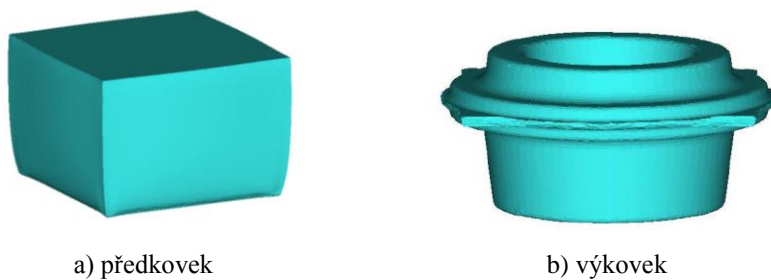
Jedná se o závěrečnou operaci kování náboje, ve které je předkovek, získaný přechováním v předešlé operaci, tvářen na konečný tvar v dutině dokončovací zápustky – Obrázek 12. Mezi jednotlivými údery je uvažováno s ochlazováním výkovku 0,5 s po dobu zvedání beranu. Tvar předkovku a konečného výkovku je na Obrázku 13. Konečného tvaru náboje je dosaženo v průběhu 8 úderu.



a) horní zápustka

b) dolní zápustka

**Obrázek 12 – Model horní a spodní zápustky**

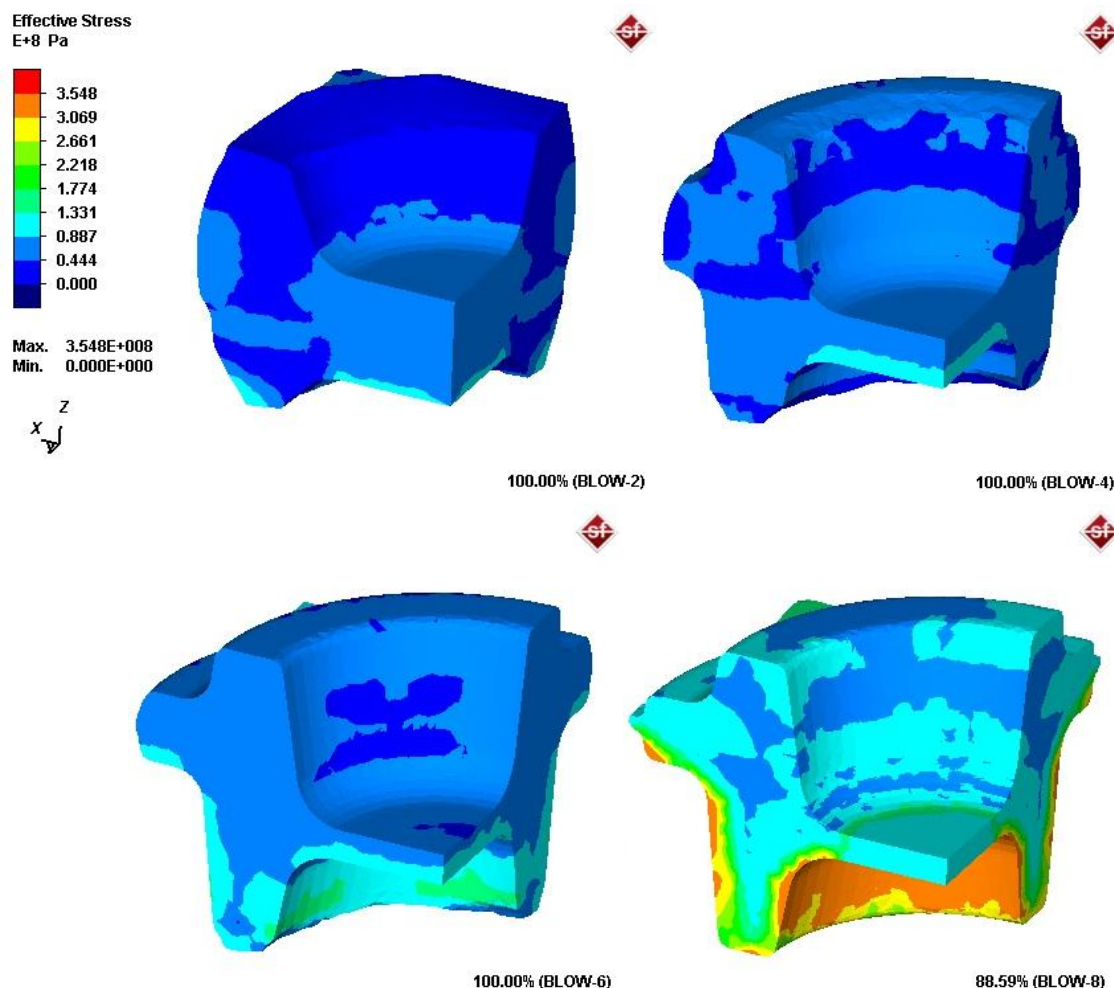


a) předkovek

b) výkovek

**Obrázek 13 – Tvar předkovku a výkovku**

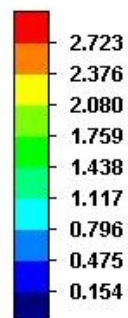
Obrázek 14 ukazuje intenzitu napětí v jednotlivých úderech v průběhu kování náboje. Můžeme pozorovat postupný nárůst hodnoty napětí. K největšímu růstu intenzity napětí dochází v povrchových vrstvách výkovku a to ve vrstvách dotýkajících se spodní zápustky dosahuje tato hodnota ve špičkách až 354,8 MPa. S přihlédnutím k vysoké teplotě polotovaru nám tyto hodnoty indikují značné opotřebení dutiny spodní zápustky.



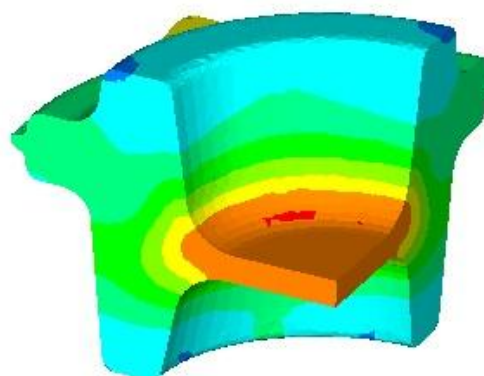
**Obrázek 14 - Rozložení intenzity napětí v průběhu dokování**

Intenzita deformace v průběhu dokování dosahuje maxima 2,723 v oblasti vnitřní blány náboje, kde dochází k výraznému ztenčení kovaného materiálu. Ve většině objemu se pohybuje intenzita deformace v rozmezí 0,796 až 1,759. Intenzita rychlosti deformace je na nízké úrovni a vykazuje plynulý průběh během celého dokování.

Effective Plastic Strain



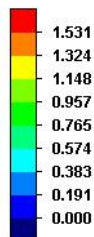
Max. 2.723E+000  
Min. 1.541E-001



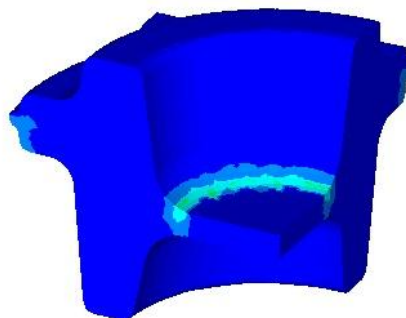
88.59% (BLOW-8)

Obrázek 15 – Rozložení intenzity deformace

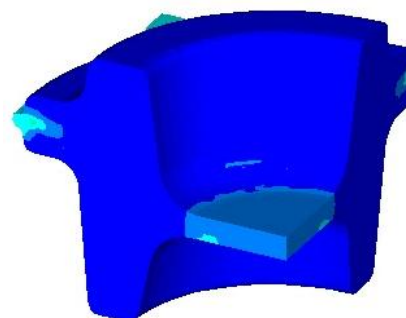
Effective Strain Rate  
E+3



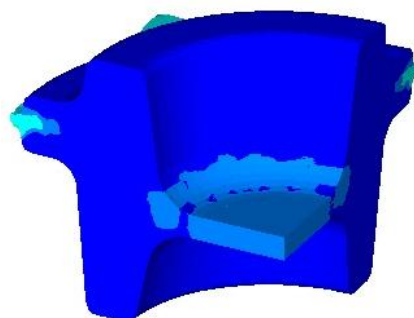
Max. 1.531E+003  
Min. 0.000E+000



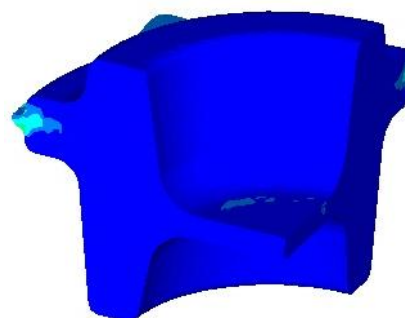
10.07% (BLOW-8)



30.40% (BLOW-8)



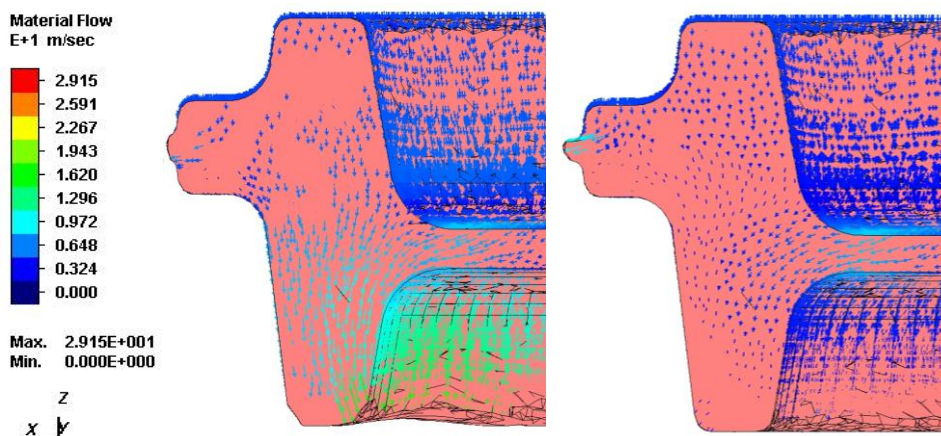
60.56% (BLOW-8)



88.59% (BLOW-8)

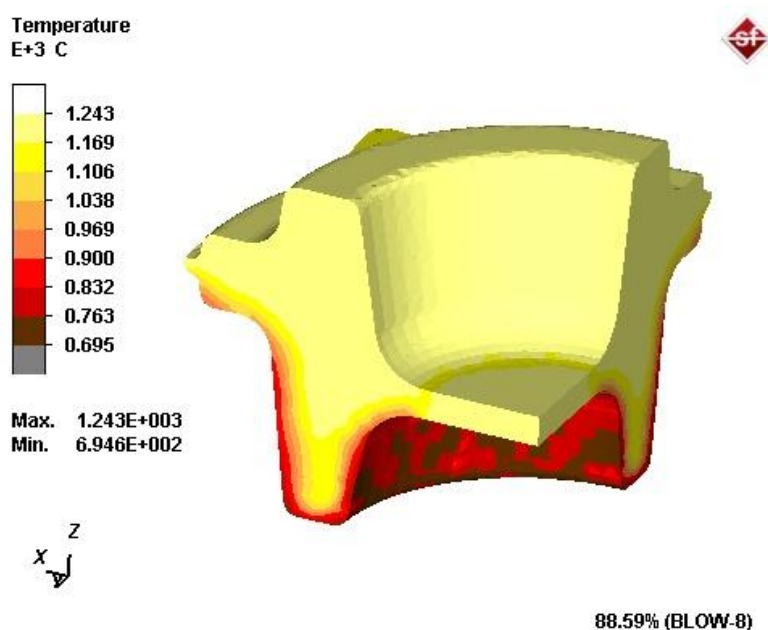
Obrázek 16 - Intenzita rychlosti deformace v průběhu posledního úderu

Z Obrázku 17 je patrný průběh vektoru rychlosti materiálu při posledním úderu, kdy na začátku dochází k úplnému vyplnění dutiny zápustky, poté přebytečný materiál přechází do výronku. V průběhu celého kování nedochází k náhlým změnám směru vektorů toku materiálu, čímž nedochází ke vzniku záložek.



**Obrázek 17 – Průběh vektorů rychlosti toku materiálu**

Teplotní pole na konci dokování je zobrazeno na Obrázku 18. Vidíme zde výrazný pokles teploty v kontaktních vrstvách výkovku se spodní zápustkou až na 700 °C, zbytek výkovku si však udržuje stále teplotu cca. 1170 °C. Po dokování tedy předpokládáme vyrovnaní teplot a úplnou rekrystalizaci materiálu.



**Obrázek 18 – Teplotní pole na konci dokování**

#### 4.4.2 Simulace kování při použití klikovového lisu

Výkovek náboje se dle technologického postupu bude kovat na klikovém lise LZK 6300 ve třech operacích. V 1. a 2. operaci se ohřátý materiál předkove dle tvaru předkovacích dutin. Ve 3. operaci se předkovek vloží do dokovací dutiny a vykove se konečný tvar náboje.

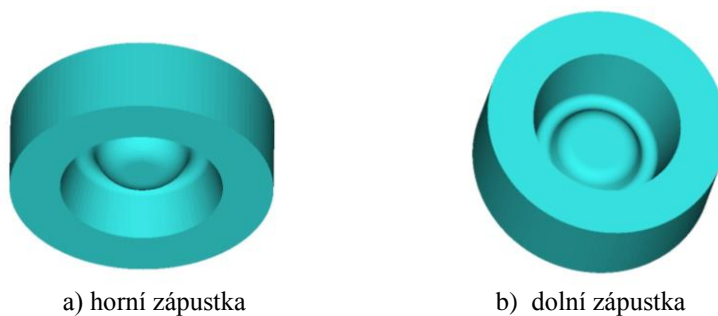
##### Vstupní údaje:

Kovací stroj:	Klikový lis LZK 6300	
	• jmenovitá síla	15,75 MN (resp. 63 MN)
	• počet zdvihů beranu	40 za min
	• zdvih beranu	450 mm
Jakost polotovaru:		ČSN 11 600
Počáteční teplota kování:		1200 °C
Teplota zápupek:		300 °C
Koeficient přestupu tepla do materiálu:		20000 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Koeficient přestupu tepla do okolí:		50 Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Tření:	součinitel smykového tření	0,4
	součinitel Coulombova tření	0,3
Operace kování:	1.operace - předkování	
	2. operace - předkování	
	3. operace – dokování	

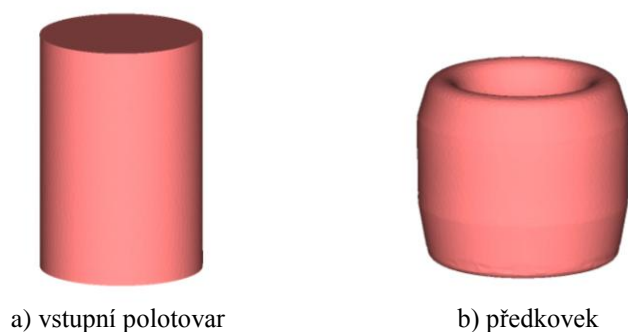
V následujícím textu jsou uvedena výstupní data získána po ukončení simulace jednotlivých operací kování náboje – průběh kovací síly, rozložení intenzity napětí, intenzity deformace, intenzity rychlosti deformace, průběh materiálového toku a rozložení teplotního pole.

##### **Simulace 1. operace kování**

V první operaci byla provedena simulace předkování vstupního polotovaru KR 160 – 239 mm na tvar předkovací dutiny – Obrázek 19. Změna tvaru není komplikovaná, jedná se v podstatě o pýchování s vytvořením menší prohlubně v horní i dolní části předkovku. Tvar vstupního polotovaru a předkovku je na Obrázku 20.

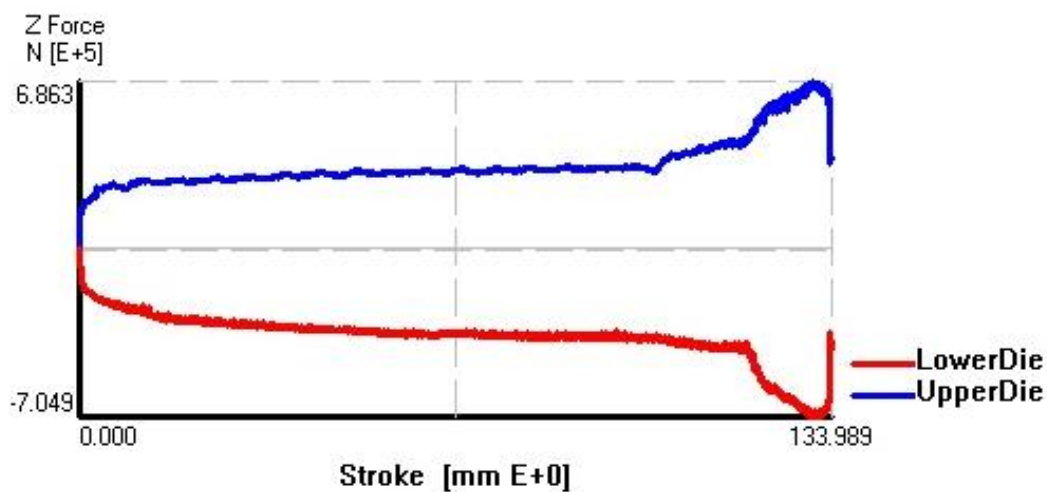


**Obrázek 19 – Model horní a spodní zápustky**



**Obrázek 20 – Tvar vstupního polotovaru a předkovku po 1. operaci**

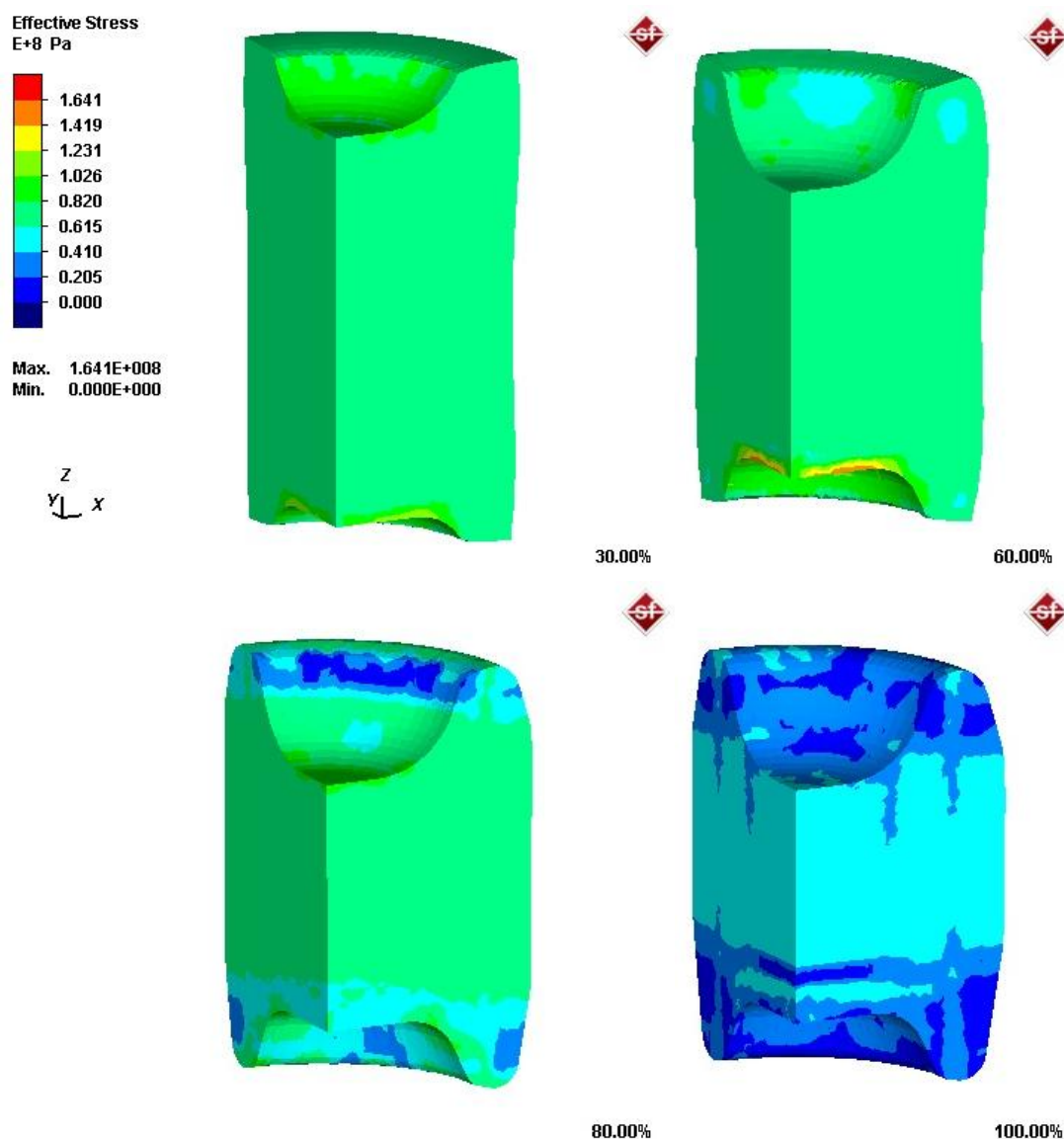
Graf na Obrázku 21 popisuje závislost kovací síly na velikosti zdvihu. Zobrazené hodnoty je ovšem třeba vynásobit 4, abychom získali hodnoty platné při kování celého výkovku. Maximální hodnota kovací síly v horní zápustce je 2,75 MN (resp.  $4 * 0,6863$  MN) a v dolní zápustce 2,82 MN (resp.  $4 * 0,7049$  MN). Z obrázku je patrný nárůst kovací síly před koncem kování. Tyto hodnoty skýtají velkou rezervu a nehrozí tedy překročení maximální kovací síly stroje.



**Obrázek 21 – Graf průběhu kovací síly v horní a dolní zápustce**



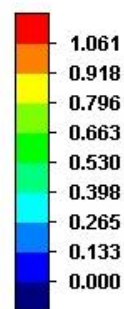
Úroveň intenzity napětí je poměrně nízká, průměrně se pohybuje v rozmezí 41 MPa až 82 MPa. Ve špičce dosahuje hodnoty 164,1 MPa. Také rozložení napětí je vcelku rovnoměrné, ke zvýšené kumulaci napětí dochází pouze v oblasti, kde se zápustky vtlačují do polotovaru.



**Obrázek 22 - Rozložení intenzity napětí v průběhu 1. operace**

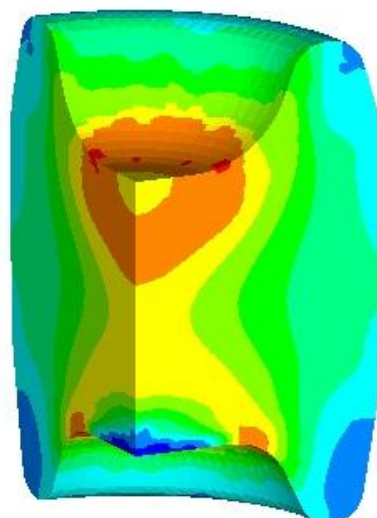
Intenzita deformace polotovaru dle Obrázku 23 dosahuje v průběhu 1. operace průměrných hodnot 0,4 až 0,8. Maximum je 1,061, které je stále nízké a nepřekračuje kritickou hodnotu, proto můžeme považovat proces za stabilní. Rychlost deformace je významná v souvislosti s tokem materiálu v dutině zápustek a s růstem přetvárného odporu. Z Obrázku 24 je patrné rozložení rychlosti deformace ( $0,33 \text{ s}^{-1}$  až  $0,82 \text{ s}^{-1}$ ). Vyšší rychlosti deformace jsou patrné pouze ve velmi malém objemu materiálu.

Effective Plastic Strain



Max. 1.061E+000  
Min. 0.000E+000

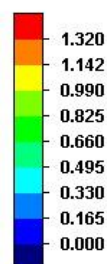
Z  
y x



100.00%

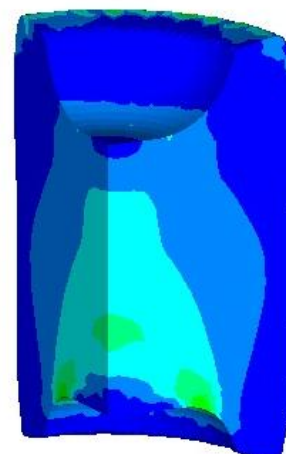
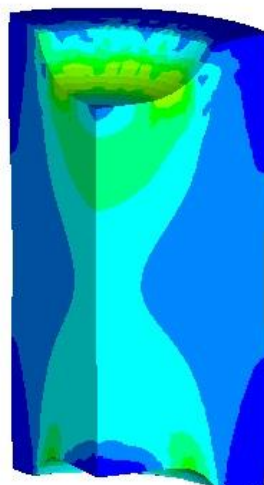
Obrázek 23 – Rozložení intenzity deformace na konci 1. operace

Effective Strain Rate  
E+1



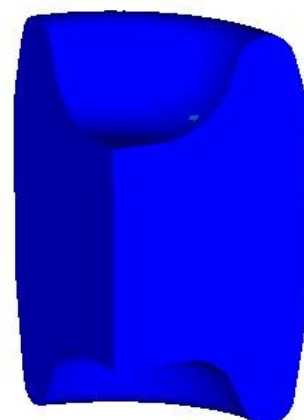
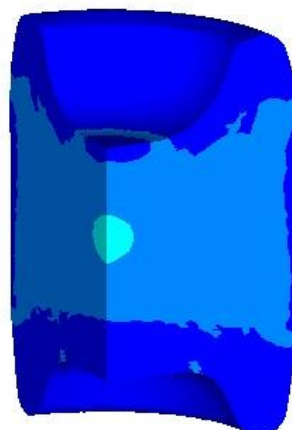
Max. 1.320E+001  
Min. 0.000E+000

Z  
y x



30.00%

60.00%



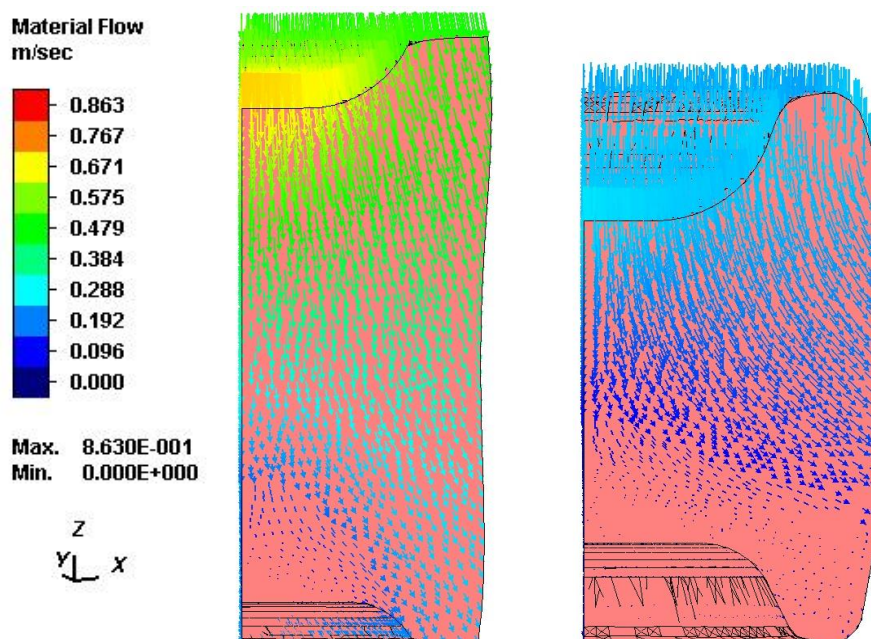
80.00%

100.00%

Obrázek 24 - Intenzita rychlosti deformace v průběhu 1. operace

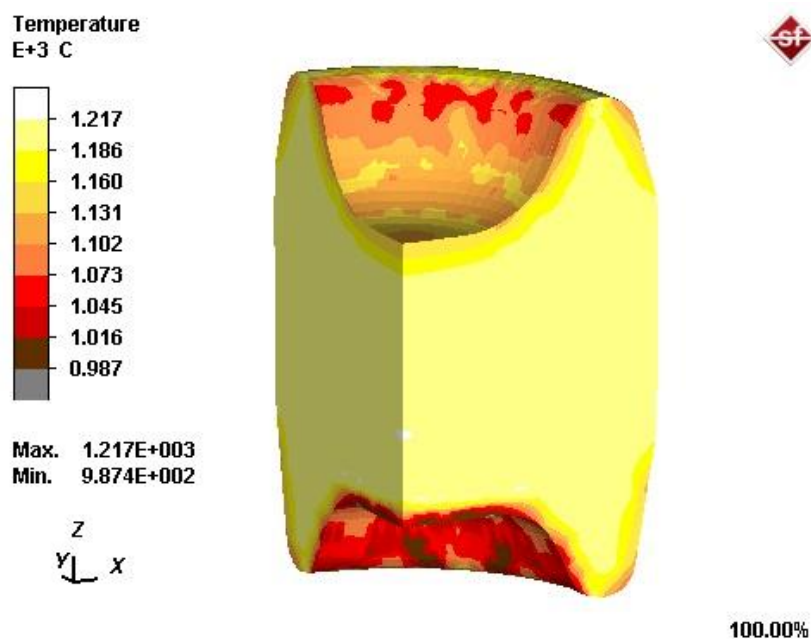


Na Obrázku 25 je znázorněn tok materiálu během 1. operace. Vektory deformační rychlosti vykazují plynulý průběh bez větších změn jejich směru. Na základě uvedeného předpokládáme, že nedochází ke vzniku vad.



**Obrázek 25 – Průběh vektorů rychlosti toku materiálu**

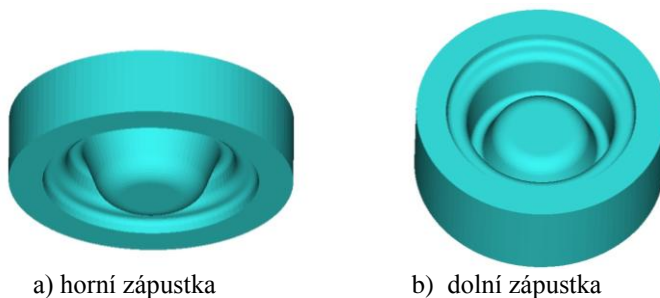
Teplota v převážné části objemu se drží na teplotě blízké teplotě ohřevu cca. 1190 °C. Během operace dojde k výraznějšímu ochlazení pouze ve vrstvách materiálu na styku s plochami nástroje až na hodnotu cca. 1050 °C.



**Obrázek 26 – Teplotní pole na konci 1. operace**

## Simulace 2. operace kování

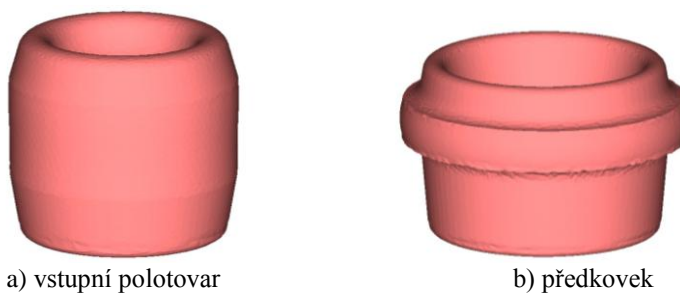
Předkovaný polotovár z předcházející operace je ihned přemístěn do dutiny zápustky 2. operace a proběhne další tvarování. Model horní a spodní zápustky a tvar vstupního polotovaru a předkovku je na Obrázcích 27 a 28.



a) horní zápustka

b) dolní zápustka

**Obrázek 27 – Model horní a spodní zápustky**

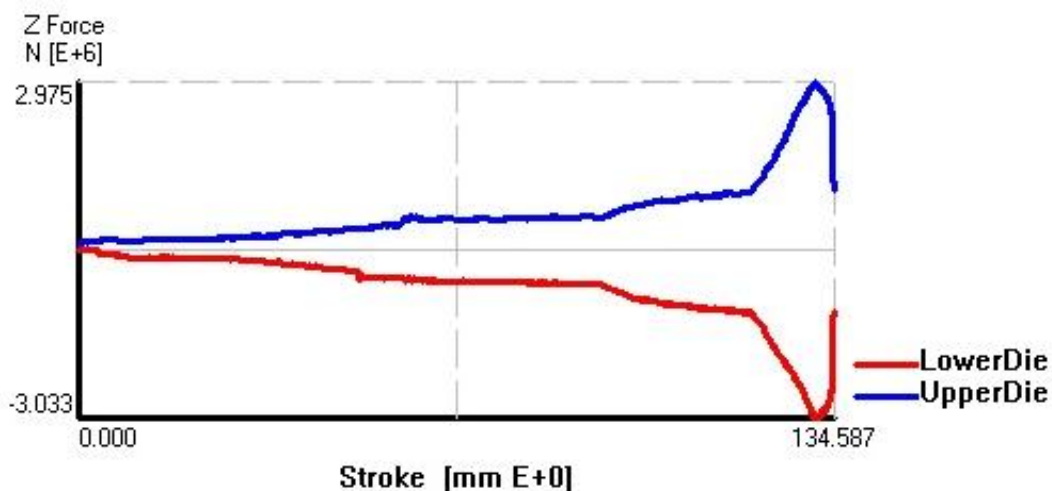


a) vstupní polotovár

b) předkovek

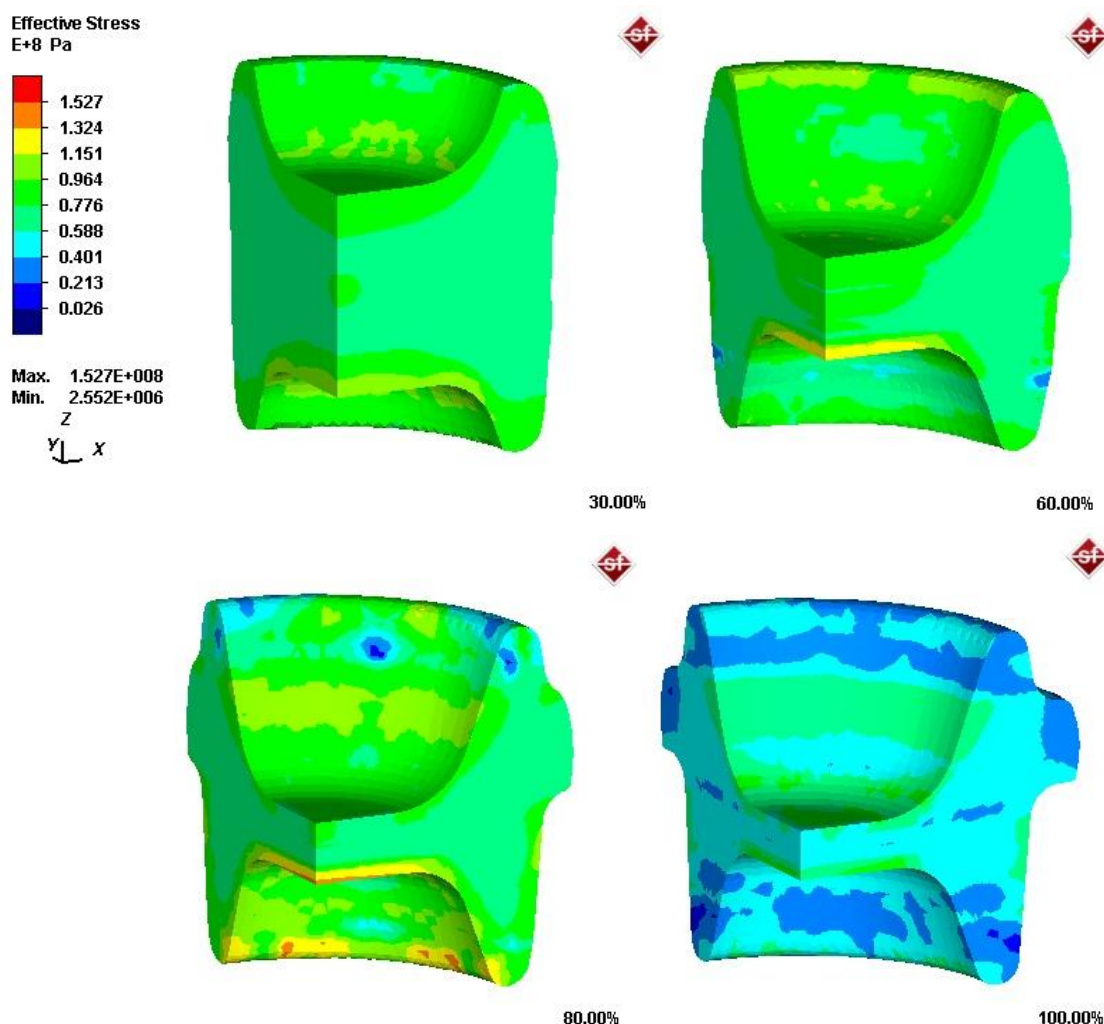
**Obrázek 28 – Tvar vstupního polotovaru a předkovku po 2. operaci**

Průběh síly během 2. operace kování je znázorněn na Obrázku 29. Vidíme strmý nárůst kovací síly před koncem zdvihu, což je způsobeno počátkem zatékání materiálu do příruby náboje. Maximální síla v horní zápustce je 11,9 MN (resp.  $4 \cdot 2,975$  MN) a v dolní zápustce 12,13 MN (resp.  $4 \cdot 3,033$  MN).



**Obrázek 29 – Graf průběhu kovací síly v horní a dolní zápustce**

V průběhu celé 2. operace můžeme pozorovat rovnoměrné rozložení intenzity napětí. Průměrné hodnoty intenzity napětí se pohybují cca. v rozmezí od 60 MPa do 100 MPa. Maximální hodnoty napětí cca. 153 MPa se nachází v oblasti spodních vrstev blány a na vnitřním rádiusu v nejnižší části spodní zápustky - viz Obrázek 30.

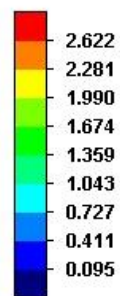


**Obrázek 30 - Rozložení intenzity napětí v průběhu 2. operace**

V oblasti utváření vnitřní blány výkovku dochází k nejintenzivnější deformaci materiálu, velikost deformace zde dosahuje hodnot až 2,62 – viz Obrázek 31. V ostatních částech výkovku se pohybují v příznivém rozmezí hodnot od 0,4 do 1,3.

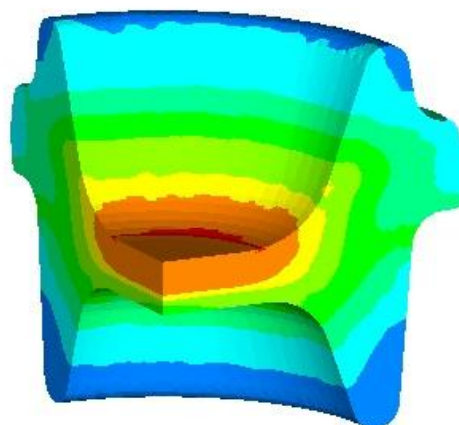
Rychlost deformace odpovídá v podstatě rozložení intenzity deformace a je také nejvyšší v oblasti vnitřní blány. Rovnoměrná rychlost deformace ve zbylém objemu materiálu dává dobré předpoklady vykování předkovku bez vnitřních vad.

Effective Plastic Strain



Max. 2.622E+000  
Min. 9.526E-002

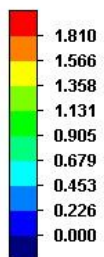
z  
y x



100.00%

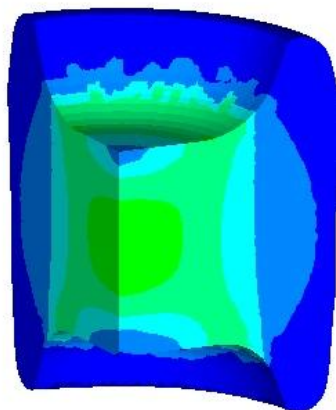
Obrázek 31 – Rozložení intenzity deformace na konci 2. operace

Effective Strain Rate  
E+1

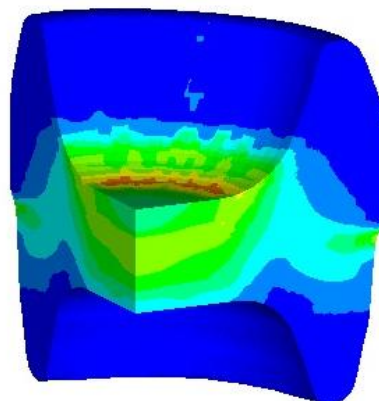


Max. 1.810E+001  
Min. 0.000E+000

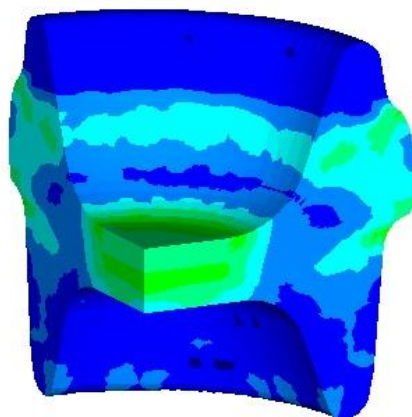
z  
y x



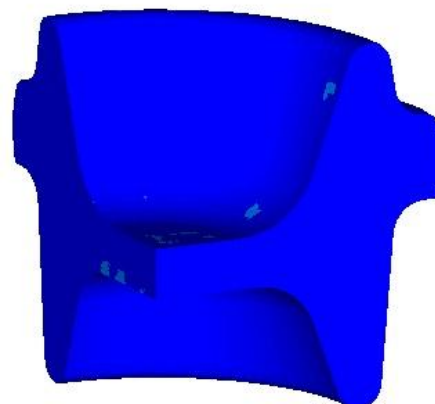
30.00%



60.00%



80.00%

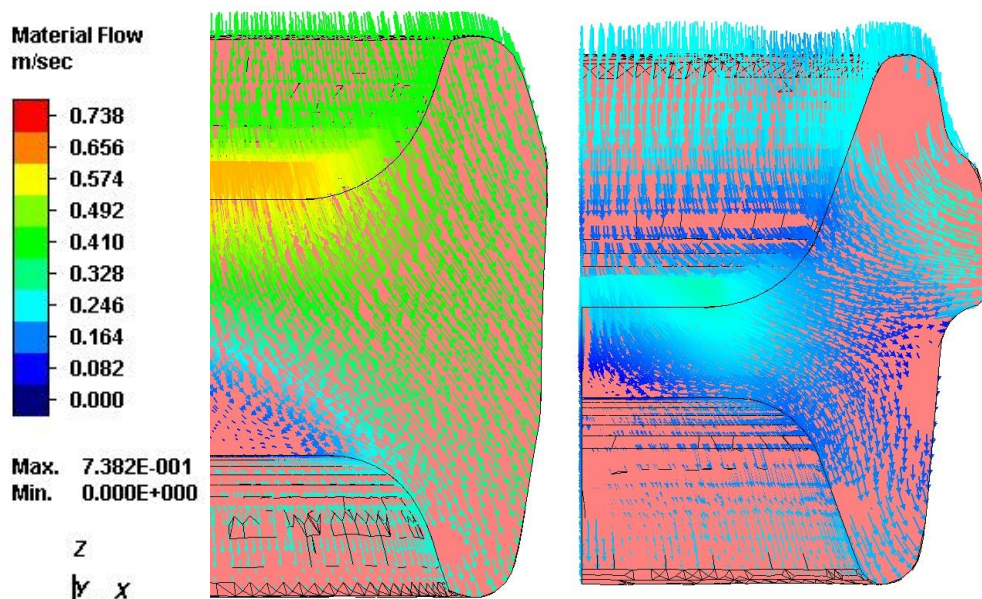


100.00%

Obrázek 32 - Intenzita rychlosti deformace v průběhu 2. operace

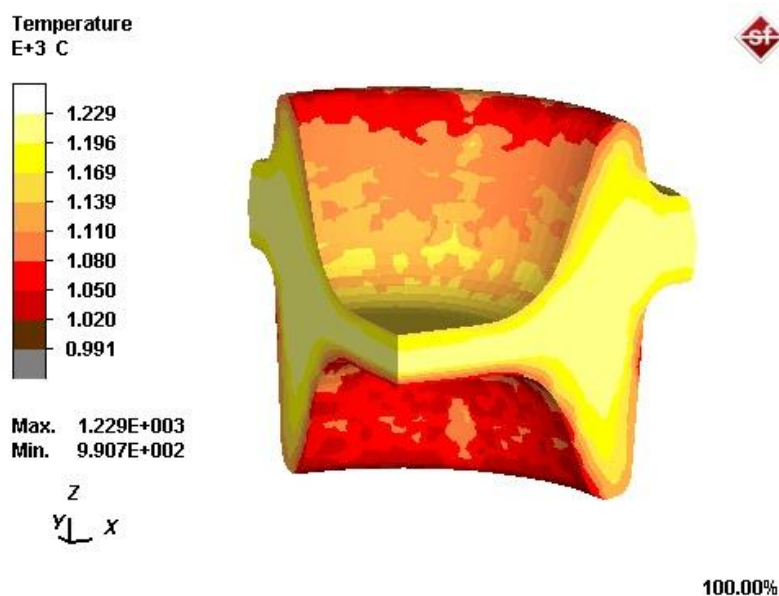


Průběh vektorů rychlosti toku materiálu je zobrazen na Obrázku 33. Tok materiálu se jeví jako příznivý. Nejintenzivnější přemístění materiálu pozorujeme z oblasti vnitřní blány, dochází k postupnému vyplňování tvaru dutin zápustek. .



**Obrázek 33 – Průběh vektorů rychlosti toku materiálu**

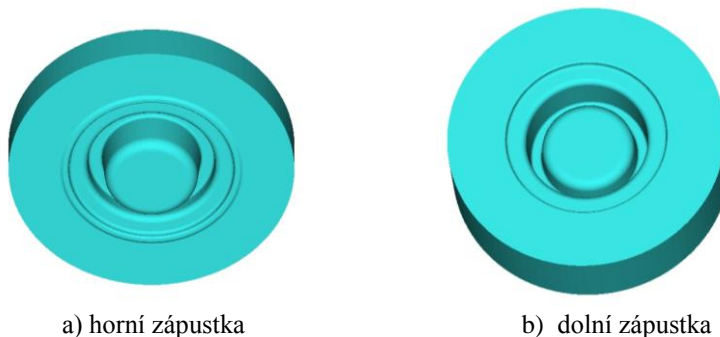
Na Obrázku 34 vidíme další pokles teploty v povrchových vrstvách předkovku, především ve spodní části, kde dosahuje teplota až 1020 °C. Jádru výkovku si udržuje na konci 2. operace teplotu cca. 1190 °C.



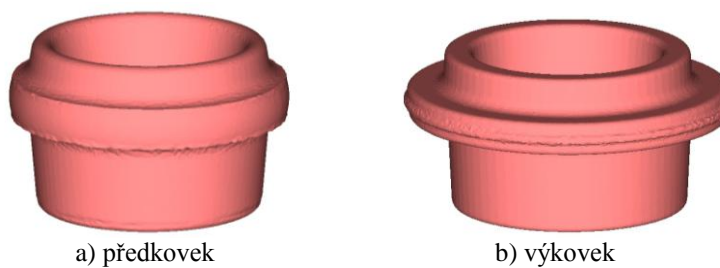
**Obrázek 34 – Teplotní pole na konci 2. operace**

### Simulace 3. závěrečné operace kování

V této závěrečné operaci kování je předkovek z předchozí operace přemístěn do dokovací zápustky a dokován. V průběhu kování dochází k úplnému vyplnění dutin zápustky a přebytečný materiál vyteče přes výronkový můstek do výronkové drážky.

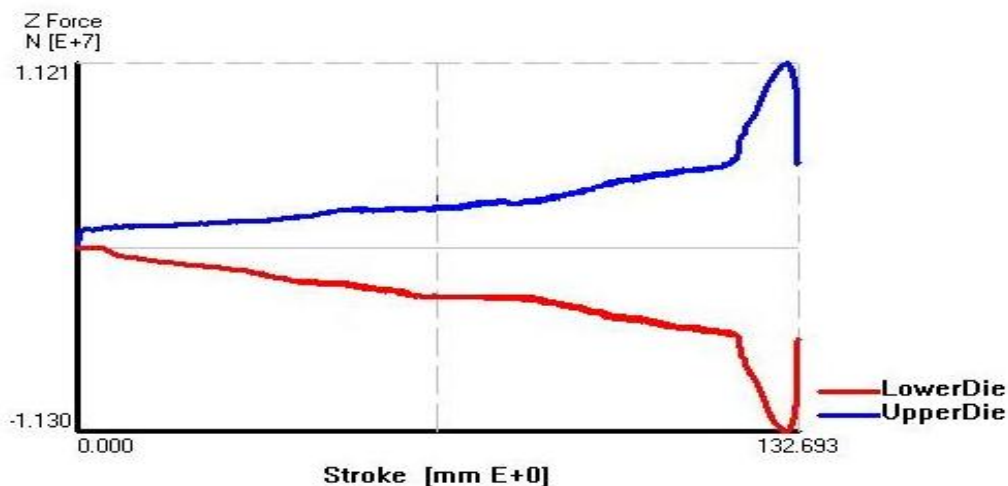


**Obrázek 35 – Model horní a spodní zápustky**



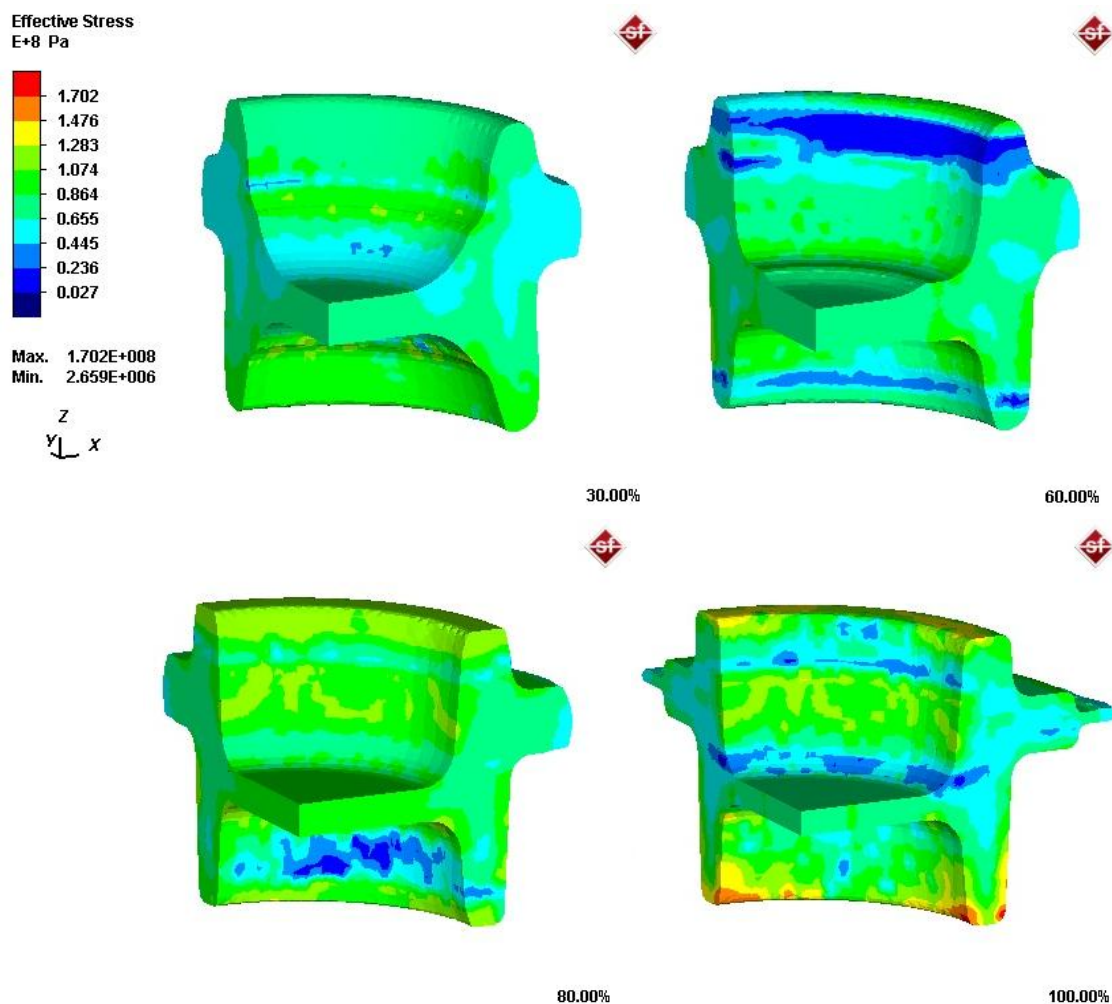
**Obrázek 36 – Tvar předkovku a výkovku po 3. operaci**

Průběh kovací síly v průběhu poslední operace je znázorněn na Obrázku 37. Počátek zatékání materiálu do výronkové drážky způsobí prudký nárůst kovací síly v poslední fázi zdvihu. Maximální síla v horní zápustce je 44,84 MN (resp.  $4 \cdot 11,21$  MN) a v dolní zápustce 45,2 MN (resp.  $4 \cdot 11,3$  MN), což je 72 % jmenovité síly lisu.



**Obrázek 37 – Graf průběhu kovací síly v horní a dolní zápustce**

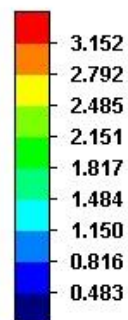
Během 3. operace lze na Obrázku 38 vidět stejnoměrné rozložení intenzity napětí. Průměrné rozmezí hodnot intenzity napětí je od 65 MPa do 107 MPa. Maximální hodnoty napětí cca. 170 MPa je opět dosaženo v rádiusech nejnižší části spodní zápustky .



**Obrázek 38 - Rozložení intenzity napětí v průběhu 3. operace**

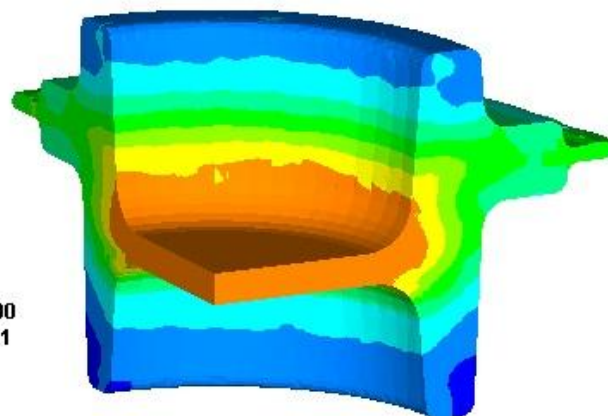
I během 3. operace se výkovek nejintenzivněji deformuje v oblasti blány, kde dosahuje také maximálních hodnot. K výraznému zvýšení rychlosti deformace dochází v závěru operace v oblasti přechodu materiálu do výronkové drážky.

Effective Plastic Strain



Max. 3.152E+000  
Min. 4.826E-001

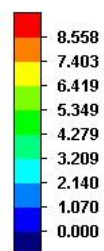
z  
y x



100.00%

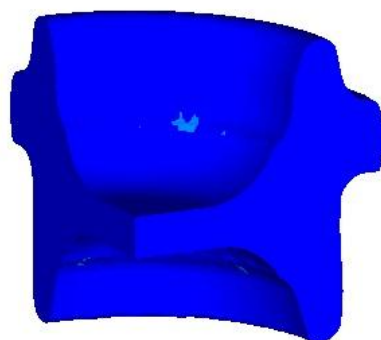
Obrázek 39 - Rozložení intenzity deformace na konci 3. operace

Effective Strain Rate  
E+1

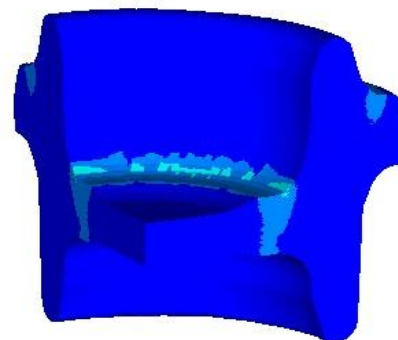


Max. 8.558E+001  
Min. 0.000E+000

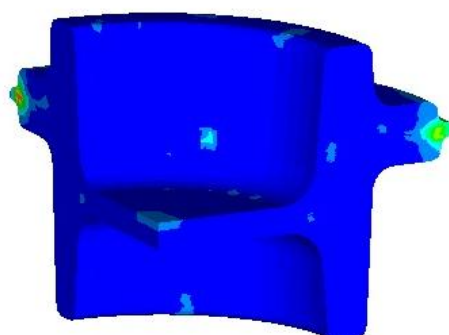
z  
y x



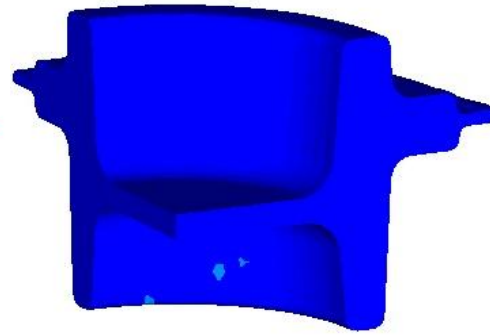
30.00%



60.00%



90.00%

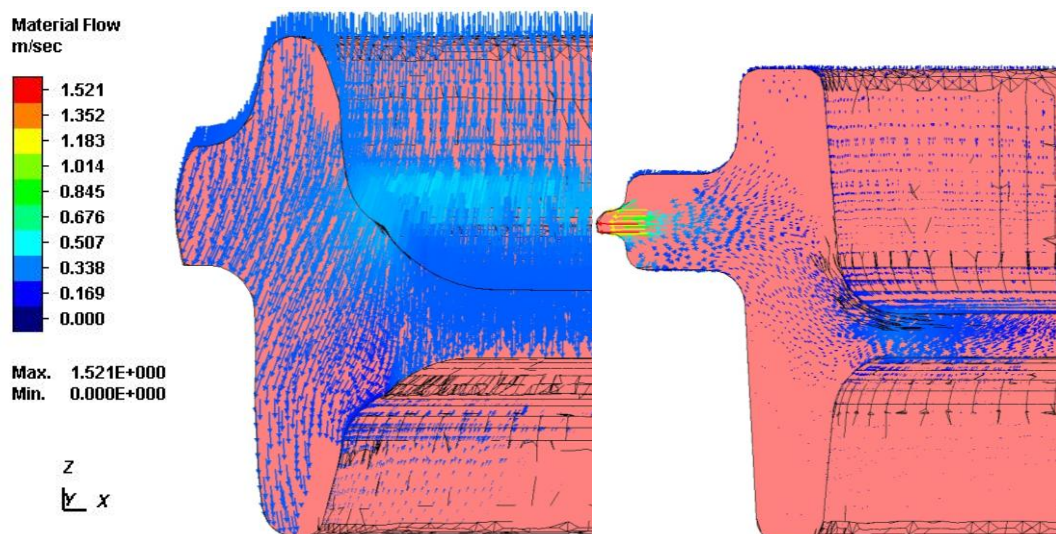


100.00%

Obrázek 40 - Intenzita rychlosti deformace v průběhu 3. operace

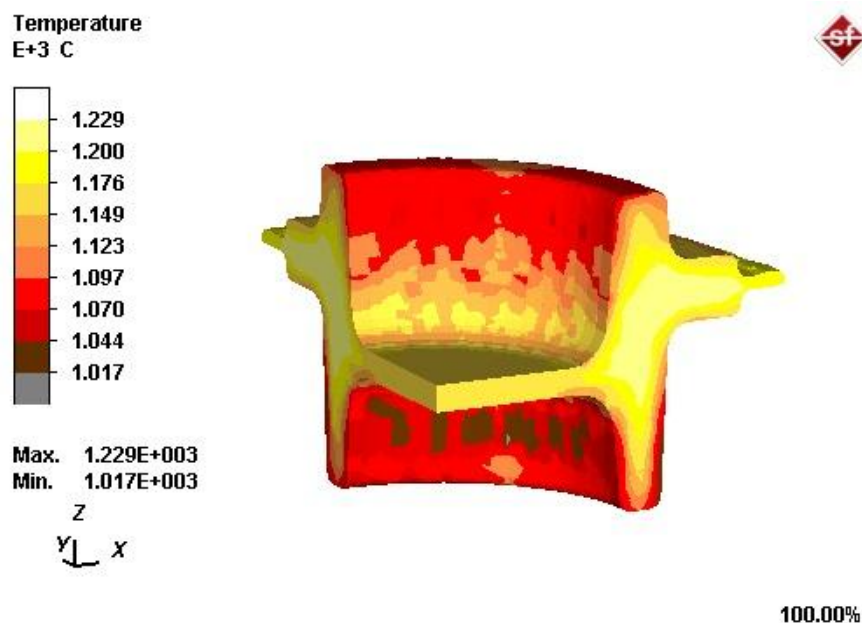


Také při dokovací operaci si vektory rychlosti toku materiálu zachovávají vhodný směr a vykazují plynulý průběh bez razantních změn. Tímto se potvrzuje předpoklad kvalitního vykování bez vzniku vnitřních vad.



Obrázek 41 – Průběh vektoru rychlosti toku materiálu

Teplotní pole na konci dokování vykazuje další mírné ochlazení. Pásma nižších teplot v povrchových vrstvách se dále rozšiřují, nejnižší teplota povrchových vrstev je cca. 1020 °C. Jádru výkovku si udržuje teplotu v rozmezí 1170 °C - 1200 °C.



Obrázek 42 – Teplotní pole na konci 3. operace

#### 4.4.3 Porovnání výsledků simulace

V předchozí kapitole byly popsány jednotlivé výstupy získané simulací procesu kování náboje. Cílem simulace bylo ověření vhodnosti nově navržené technologie výroby náboje na klikovém lisu a porovnání se stávající technologií výroby na šabotovém bucharu.

Rozdíly ve výsledcích simulace vyplývají z rozdílného způsobu práce použitých kovacíh strojů. Při kování na bucharu dosahujeme větších deformačních rychlostí na začátku úderu, kdy se horní zápustka setká s polotovarem. Poté nastává prudký pokles rychlosti horní zápustky, způsobený růstem odporu přetvářeného materiálu. U lisu je tato počáteční rychlost deformace nižší, ale poté ji následuje mnohem plynulejší pokles rychlosti horní zápustky, což vede ke stejnoměrnější deformaci.

Tato rozdílnost v deformaci kovu je také příčinou odlišnosti ve způsobu vyplňování dutin zápustek při kování na bucharu a na lisu. Při kování na bucharu dochází k intenzivnějšímu zaplňování dutin protlačováním, oproti tomu při kování na lisu pýchováním. Převaha protlačování nebo pýchování při kování je také ovlivněna tvarem a rozměrem dutiny a polotovaru.

Na základě výše zmíněných zjištění byl také navržen technologický postup kování. Kdy při kování náboje na bucharu je výchozí materiál spýchován mezi rovnými kovacími v předkovací operaci na výšku 140 mm a poté v průběhu dokování dochází k protlačování materiálu do horní zápustkové dutiny. U kování náboje na lisu má naopak větší úlohu pýchování, kdy výchozí materiál je postupně pýchován na finální výšku výkovku náboje.

Intenzita deformace se u kování na lisu drží téměř během celého procesu na znatelně nižších hodnotách. V závěru dokování však špičkové hodnoty nepatrně překročí i intenzitu deformace dosaženou při kování na bucharu, což je zapříčiněno menšími velikostmi navržených přechodových rádiusů zápustek.

Vektory rychlosti toku materiálu si zachovávají vhodný směr v průběhu celého procesu kování u obou technologií. U lisu jsou však velikosti těchto rychlostí nižší, což má příznivější vliv na kvalitu vykování výkovku bez vzniku vnitřních vad. Také použití kruhové tyče namísto čtvercové se jeví jako výhodnější pro rovnoměrnější zatékání materiálu do dutin zápustky.

Během kování na bucharu je patrná až dvojnásobně vyšší intenzita napětí oproti kování na lisu. Při dokování dosahuje napětí ve spodní části dolní zápustky nejvyšších hodnot, 170 MPa u lisu a 354 MPa u bucharu. Také plocha, na které je těchto vysokých hodnot napětí dosaženo, je u bucharu několikanásobně větší. S přihlédnutím k vysoké

teplotě polotovaru nám tyto hodnoty jasně potvrzují značné namáhání zápustek a tím také rychlejší opotřebení jejich dutin.

Z rozložení teplotních polí a jejich hodnot vidíme, že při kování na bucharu dochází k výraznějšímu poklesu teplot v povrchových vrstvách materiálu v přímém kontaktu se spodní zápustkou. Oproti náboji vyrobeném na lisu si však zachovává vyšší teplotu větší části objemu. U obou technologií výroby je teplota výkovku po dokování dostačující, aby došlo k plné rekrytalizaci materiálu.

V průběhu simulace byla ověřena možnost vykovat náboj na navrženém klikovém lisu o jmenovité síle 63 MN. Nejvyšší kovací síly bylo dosaženo ke konci dokovací operace při zatékání materiálu do výronkové drážky. Potřebná síla k vykování náboje je 45,2 MN což je 72 % jmenovité síly zvoleného lisu, čímž je potvrzena správnost této volby.

## 5 Ekonomické zhodnocení výroby nábojů

V tomto ekonomickém zhodnocení jsou porovnány náklady výroby náboje zápustkovým kováním při využití bucharu a klikového lisu a vyčísleny úspory vzniklé změnou technologie.

### 5.1 Náklady na výrobu nábojů zápustkovým kováním

V současné době jsou náboje brzdových kotoučů vyráběny kováním na šabotovém bucharu z oceli 11 600. Materiál je nařezán na pile, ohříván v plynové peci, předkován na předkovacím bucharu, dokován na dokovacím bucharu a ostřižen a děrován na klikovém ostřihovacím lise. Dále je pak výkovek tepelně zpracován, otryskán a zkontrolován.

Následující základní kalkulace nákladů zobrazuje hlavní vstupy ovlivňující konečnou cenu náboje.

#### Stanovení nákladů na výkovek

- náklady na materiál, jednicové mzdy, výrobní režie
- tepelné zpracování – normalizační žíhání
- tryskaní ocelovou drtí
- kontrola - zkouška tvrdosti HB, magnetická zkouška na zjištění povrchových trhlin a rozměrová kontrola

Výrobní náklady na výrobu 1 ks výkovku kovaného na šabotovém bucharu činí **Kč 1 640,-**.

Nově navržená technologie výroby náboje počítá s převedením výroby na klikový lis. Materiál, z kterého se náboj kove, zůstane stejný. Nařezaný materiál je ohříván v indukční peci, kován na 3. operace na klikovém lisu, ostřižen, tepelně zpracován, otryskán ocelovou drtí a zkontrolován.

Základní kalkulace nákladů výroby nábojů je tvořena stejnými složkami jako předchozí kalkulace a výrobní náklady na výrobu 1 ks náboje činí **Kč 1 175,-**. Rozdíl ve výrobních nákladech oproti stávající technologii je způsoben zejména následujícími skutečnostmi:

#### Úspory výchozího materiálu

Výhodou nově navržené technologie je úspora vsázkového materiálu, která je docílena menšími technologickými přídávky. Stupeň využití materiálu v procentech při

výrobě jednoho náboje je dán poměrem čisté hmotnosti výkovku a vsázkové hmotnosti materiálu.

$$\eta = \frac{m_n}{m_s} \cdot 100 \quad (14)$$

kde:  $m_n$  = čistá hmotnost výkovku [kg]

$m_s$  = vsázková hmotnost materiálu [kg]

$\eta$  = stupeň využití materiálu [%]

**Tabulka 6 – Stupeň využití materiálu**

	Stávající technologie výroby (buchar)	Navržená technologie výroby (klikový lis)
Čistá hmotnost výkovku - $m_n$	40,7 kg	38,8 kg
Vsázková hmotnost materiálu - $m_s$	44,5 kg	41,9 kg
Stupeň využití materiálu - $\eta$	91,5 %	92,6 %

Z Tabulky 6 je patrný o něco vyšší stupeň využití materiálu při kování nábojů na klikovém lise. Současně si všimneme i nižší hmotnost potřebného vsázkového materiálu i finálního výkovku. Rozdíl v hmotnosti finálních výkovku je **2,6 kg**, což při ceně cca. 16 Kč/kg oceli 11 600 činí úsporu **Kč 41,60** na jednom kusu vykovaného náboje.

#### **Zvýšení produktivity práce a snížení jednicových mzdových nákladů**

Dalších úspor v nákladech je dosaženo zvýšením produktivity práce a to zkrácením času potřebného k výrobě jednoho náboje na klikovém lisu oproti výrobě na bucharu. Díky změně technologie výroby nábojů jsme tedy schopni vyrábět větší množství nábojů za jednotku času. Výrobní kapacita šabotového bucharu při dané hmotnosti a složitosti výkovku je cca. **23 ks/hod**, u kovacího lisu předpokládáme **31 ks/hod**, což je nárůst produktivity práce o **35 %**. Nárůst objemu výroby činí cca. 64 ks za směnu.

Neméně významnou roli hraje také snížení počtu zaměstnanců přímo se podílejících na výrobě nábojů. Při výrobě nábojů na šabotovém bucharu jsou potřeba 4 pracovníci a to obsluha ohřívací pece, předkovacího bucharu, kovacího bucharu a ostříhovacího lisu. Převedením výroby na kovací lis dosáhneme úsporu 1 pracovníka. K výrobě nábojů nově navrženou technologií je zapotřebí pouze obsluha ohřívací pece, kovacího lisu a ostříhovacího lisu.

Další významné položky, které je třeba započítat do celkových výrobních nákladů jsou podíl nákladů na výrobu nového nářadí a podíl nákladů na obnovu tvaru zápustek.

#### **Podíl nákladů na výrobu nového nářadí**

V Tabulce 7 jsou uvedeny náklady na výrobu nových kovacíh zápustek, ostříhovadla a děrovadla pro stávající i nově navrženou technologii výroby. Uvedené ceny zahrnují náklady na materiál zápustek, ostříhovacích a děrovacích nástrojů, jednicové mzdy a režii nástrojárny. V tabulce je dále uvedena předpokládaná životnost nářadí. Po vykování uvedeného množství kusů se musí zhotovit nová zápustka. Rozdíl podílu nákladů na 1 náboj je **Kč 28,30** ve prospěch výroby nábojů na klikovém lisu, což je způsobeno vyšší životností nářadí a nižšími náklady na jejich výrobu.

**Tabulka 7 – Náklady na výrobu nového nářadí**

	Stávající technologie výroby (buchar)	Navržená technologie výroby (klikový lis)
Celkové náklady	Kč 485 000,-	Kč 420 000,-
Celková životnost nářadí	6000 ks	8000 ks
Podíl nákladů na 1 náboj	Kč 80,80	Kč 52,50

#### **Podíl nákladů na obnovu tvaru zápustky**

Tabulka 8 zobrazuje náklady na obnovu tvaru zápustek, popř. ostříhovadla a děrovadla. U zápustek pro buchar uvažujeme celkem se 7 obnovami tvaru, vždy po vykování cca. 750 ks nábojů. Obnova tvaru zápustky se provede snížením zápustky a obnovením dutiny zápustky, popř. snížením a přestřelením ostříhovadla a děrovadla.

Obnova tvaru dutiny zápustek pro klikový lis se provede vyvločkováním dutiny zápustek po vykování cca. 950 ks nábojů. I přestože počítáme u zápustek pro klikový lis s větší životností, vidíme, že podíl nákladů na jejich obnovu je vyšší o **Kč 14,60**.

**Tabulka 8– Náklady na obnovu tvaru zápustek**

	Stávající technologie výroby (buchar)	Navržená technologie výroby (klikový lis)
Celkové náklady	Kč 26 000,-	Kč 47 000,-
Počet vykováných nábojů do obnovy	750 ks	950 ks
Podíl nákladů 1 náboj	Kč 34,70	Kč 49,50

**Stanovení celkových nákladů na výrobu náboje technologií kováním**

Celkové náklady na vykování náboje tedy zahrnují náklady na výkovek, podíl nákladů na výrobu nového nářadí a podíl nákladů na obnovu tvaru zápustky. Jednotlivé výše těchto složek nákladů jsou shrnuty v Tabulce 9. Z porovnání celkových nákladů vyplývá, že jsme změnou technologie výroby dosáhli úspory **7 %**, což je **Kč 123,50**.

**Tabulka 9 – Náklady na výrobu nábojů 1 náboje**

	Stávající technologie výroby (buchar)	Navržená technologie výroby (klikový lis)
Výrobní náklady	Kč 1 640,-	Kč 1 530,-
Podíl nákladů na nové nářadí	Kč 80,80	Kč 52,50
Podíl nákladů obnovy tvaru zápustky	Kč 34,70	Kč 49,50
<b>Celkové náklady</b>	<b>Kč 1 755,50</b>	<b>Kč 1 632,-</b>

Významným přínosem změny výrobní technologie je také úspora nákladů na straně odběratele. Jedná se zejména o úspory nákladů na opracování, dopravě a balném, které si hradí sám odběratel.

## 6 Závěr

Cílem mé diplomové práce byl návrh nové technologie výroby nábojů brzdových kotoučů za účelem snížení výrobních nákladů a tím také jejich ceny. Změna technologie spočívá v převedení výroby z šabotového bucharu na klikový lis, kde se bude náboj kovat v postupové zápustce na tři operace. Na základě výpočtu potřebné tvářecí síly a s ohledem na největší rozměr náboje v dělicí rovině jsem navrhl použít klikový lis LZK 6300 o jmenovité síle 63 MN, která je dostatečná k vykování náboje.

Prostřednictvím počítačové simulace jsem ověřil správnost nově navržené technologie kování a provedl jsem porovnání se stávající technologií výroby. K simulování tvářecího procesu jsem využil program Simufact.forming umožňující 2D i 3D simulace v oblasti objemového i plošného tváření. Z výsledků získaných modelováním vyplývá, že současnou technologií kování nábojů lze nahradit nově navrženou technologií při dosažení srovnatelných vlastností výkovku. Byla potvrzena možnost bezproblémového tváření náboje i vhodnost navržených podmínek procesu.

Převedením výroby nábojů z šabotového bucharu na klikový lis bylo docíleno požadovaného snížení nákladů. Celkové výrobní náklady poklesly o **7 %**, což činí úsporu Kč 123,50 na jednom kusu náboje. Úspor bylo dosaženo zejména snížením vsázkové hmotnosti materiálu potřebného k vykování náboje o 2,6 kg, což je způsobeno menšími technologickými přídávky u kování na lisu. Další úspor v nákladech je dosaženo zvýšením produktivity práce zkrácením výrobního času náboje a také snížením počtu zaměstnanců přímo se podílejících na výrobě nábojů o jednoho pracovníka.

Věřím, že má diplomová práce splní svůj cíl a návrh nové technologie kování nábojů povede k posílení konkurenceschopnosti dodavatele nábojů brzdových kotoučů.



## 7 Seznam použité literatury

- [1] BRJUCHANOV, A. N., REBELSKIJ, A. V. *Zápustkové kování (Konstrukce a výpočet nástrojů), díl I, Kování na bucharech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1955. 248 s.
- [2] BRJUCHANOV, A. N., REBELSKIJ, A. V. *Zápustkové kování (Konstrukce a výpočet nástrojů), díl II, Kování na klikových lisech a vodorovných kovacíh strojích*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1956. 352 s.
- [3] ČADA, R. *Technologie 1 : část tváření a slévání (návodů do cvičení)*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1998. 180 s., ISBN 80-7078-540-3.
- [4] ČERMÁK, J. *Podklady pro předmět Projekt 1 – část kování*, [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Dostupné z URL:  
<[http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek\\_zadani.pdf](http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek_zadani.pdf)>
- [5] HAŠEK, V. a kol. *Kování*. Praha: SNTL, 1965. 731 s.
- [6] KOPŘIVA, M. *Počítačová podpora technologie (Sylaby)*, [online]. Brno: Vysoké učení technické Brno, Dostupné z URL: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/pocitacova\\_podpora\\_technologie\\_kopriva.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/pocitacova_podpora_technologie_kopriva.pdf)>
- [7] MALEK, L. *Návrh technologie kování náboje*. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB–Technická univerzita Ostrava, 2007, 52 s. Bakalářská práce, vedoucí Rusz, S.
- [8] PETRUŽELKA, J., HRUBÝ, J. *Výpočetní metody ve tváření*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2000, 174 s., ISBN 80-7078-728-7.
- [9] PETRUŽELKA, J., OČENÁŠEK, V., KLIBER, J., HRUBÝ, J., LIČKA, S., ŠARMANOVÁ, J. *Metoda konečných prvků ve tváření za tepla*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1998 ISBN 80-7078-636-1.
- [10] SOMMER, B. *Technologie kování*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1965. 200 s.
- [11] STOROŽEV, M. V., POPOV, J. A. *Teória tvárnenia kovov*. Bratislava: ALFA, 1978. 488 s.
- [12] Simufact Engineering GmbH. *Program Simufact Forming*, [online]. Dostupné z URL: <<http://www.simufact.de/en/solutions/index.html>>.
- [13] ČSN 22 8306. *Tvářecí nástroje. Zápustky pro svislé kovací lis. Technické požadavky na konstrukci*

## **8 Seznam příloh**

Příloha A – Náboj

Příloha B – Náboj (výkovek)

Příloha C – Pěchovací dutina

Příloha D – Předkovací dutina

Příloha E – Dokovací dutina

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Stanislavu Ruzzovi, CSc. za odborné vedení, cenné připomínky a rovněž za čas, který mi v průběhu vypracování diplomové práce věnoval.